

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①1 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 790 625

②1 N° d'enregistrement national : 99 15390

⑤1 Int Cl<sup>7</sup> : H 04 B 10/12

①2

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 07.12.99.

③0 Priorité : 05.03.99 JP 05849999.

④3 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 08.09.00 Bulletin 00/36.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été  
établi à la date de publication de la demande.*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : FUJITSU LIMITED — JP.

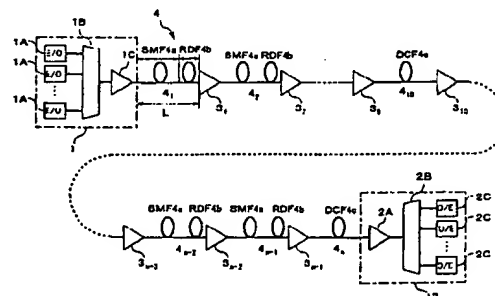
⑦2 Inventeur(s) : TANAKA TOSHIKI et NAITO TAKAO.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : CABINET BEAU DE LOMENIE.

⑤4 SYSTÈME DE TRANSMISSION OPTIQUE A MULTIPLEXAGE PAR DIVISION EN LONGUEURS D'ONDE.

⑤7 On propose un système de transmission optique WDM (à multiplexage par division en longueurs d'onde) présentant une caractéristique de transmission excellente en utilisant une ligne de transmission hybride (4) qui est formée en combinant sous des conditions optimum une fibre optique présentant une dispersion en longueurs d'onde positive (4a) et une fibre optique présentant une dispersion en longueurs d'onde négative (4b). La ligne comprend un segment inter-répéteur (4<sub>n</sub>) formé à l'aide d'une ligne de transmission hybride constituée par une fibre monomode ou SMF de dispersion zéro à 1,3  $\mu$ m (4a) et par une fibre à dispersion inversée ou RDF (4b), et un segment inter-répéteur (4<sub>n</sub>) formé à l'aide d'une fibre de compensation de dispersion ou DCF (4c) pour compenser une dispersion en longueurs d'onde cumulative générée dans la ligne de transmission hybride. Le rapport optimum de la longueur de la RDF sur la longueur du segment inter-répéteur doit être établi à 20% ou plus et à 40% ou moins.



FR 2 790 625 - A1



## ARRIÈRE PLAN DE L'INVENTION

### 1. Domaine de l'invention

La présente invention concerne un système de transmission optique à multiplexage par division en longueurs d'onde permettant de  
5 mettre en œuvre une transmission répétée d'une lumière de signal multiplexée par division en longueurs d'onde via des amplificateurs optiques. Plus particulièrement, la présente invention concerne un système de transmission optique à multiplexage par division en  
10 longueurs d'onde dans lequel une ligne de transmission hybride formée en combinant des fibres optiques présentant une dispersion en longueurs d'onde opposée est adoptée pour compenser une dispersion en longueurs d'onde et une pente de dispersion en longueurs d'onde.

### 2. Description de l'art antérieur

15 Par le passé, avec les systèmes de transmission optique longue distance, des répéteurs de reproduction optique ont été utilisés pour la transmission. Les répéteurs de reproduction optique convertissent un signal optique selon un signal électrique et réalisent un recadencement, une remise en forme et une régénération.  
20 Cependant, l'utilisation d'amplificateurs optiques est devenue d'une mise en œuvre classique de nos jours. Un mode transmission par répéteurs d'amplification optique qui utilise des amplificateurs optiques en tant que répéteurs linéaires est en cours de discussion. Les répéteurs de reproduction optique sont remplacés par des répéteurs  
25 d'amplification optique et ainsi, le nombre de parties incluses dans un répéteur peut être réduit fortement. Par conséquent, une fiabilité élevée peut être garantie et une réduction importante des coûts est attendue.

En outre, un mode de transmission optique à multiplexage par division en longueurs d'onde (WDM) a largement attiré l'attention en tant que l'un de modes permettant de réaliser un système de transmission optique de capacité importante. Conformément au mode

5 de transmission optique à multiplexage par division en longueurs d'onde, deux signaux optiques ou plus présentant des longueurs d'onde différentes sont multiplexés et transmis sur une seule ligne de transmission.

Avec un mode de transmission par répéteurs d'amplification

10 optique WDM qui est une combinaison du mode de transmission par répéteurs d'amplification optique et du mode de transmission optique WDM, des lumières de signal multiplexées par division en longueurs d'onde peuvent être amplifiées collectivement en utilisant des amplificateurs optiques. En outre, une transmission de capacité

15 importante et longue distance peut être réalisée en utilisant une configuration simple (économique).

Les systèmes de transmission par répéteurs d'amplification optique WDM classiques (ci-après abrégés en systèmes de transmission optique WDM) adoptent un procédé consistant à gérer

20 une dispersion en longueurs d'onde générée dans une ligne de transmission de manière à minimiser la détérioration des caractéristiques de transmission due à un effet non linéaire généré dans la ligne de transmission.

Par exemple, dans un article (1) écrit par N. S. Bergano et

25 suivants et intitulé "Wavelength Division Multiplexing in Long-haul Transmission Systems" (IEEE Journal of Lightwave Technology, Vol. 14, N°6, pp. 1299-1308, 1996), une ligne de transmission constituée en combinant une fibre à dispersion décalée (DSF) et une fibre monomode (SMF) est utilisée comme représenté sur la figure 16.

30 La fibre à dispersion décalée présente une longueur d'approximativement 900 kilomètres et elle est d'une longueur d'onde de dispersion zéro  $\lambda_{OD}$  de 1585 nm, et elle présente une pente de dispersion en longueurs d'onde positive. La fibre monomode présente

une longueur d'approximativement 100 kilomètres et elle est d'une longueur d'onde de dispersion zéro  $\lambda_{OS}$  de 1310 nm, et elle présente une pente de dispersion en longueurs d'onde positive. Une longueur d'onde de dispersion zéro moyenne  $\lambda_{OA}$  de la ligne de transmission est d'approximativement 1558 nm et des longueurs d'onde de lumière de signal autorisées à se propager sur la ligne de transmission s'inscrivent dans la plage qui va de 1556 nm à 1560 nm.

Les valeurs de la dispersion en longueurs d'onde générée dans la DSF et dans la SMF sont respectivement d'approximativement - 2 ps/nm/km et d'approximativement +20 ps/nm/km. La vitesse de groupe de la lumière de signal et de la lumière émise spontanément et la vitesse de groupe de chaque lumière de signal sont différentes entre la DSF et la SMF. L'utilisation de la ligne de transmission réalisée en combinant la DSF et la SMF rend possible de raccourcir le temps d'interaction dû à un effet non linéaire. La détérioration des caractéristiques de transmission due à un mélange de quatre ondes (FWM) et à une modulation de phase croisée (XPM) peut par conséquent être minimisée. En outre, puisque la longueur d'onde de dispersion zéro moyenne de la ligne de transmission tombe dans les longueurs d'onde de la lumière de signal, une détérioration des caractéristiques de transmission due à une automodulation de phase (SPM) et à une dispersion en longueurs d'onde peut également être minimisée.

Cependant, une largeur de bande ou bande passante utilisée pour la transmission doit être étendue afin d'augmenter la capacité du système de transmission optique WDM. Dans ce cas, pour autant que la configuration mentionnée ci-avant est concernée, du fait de la pente de dispersion en longueurs d'onde, il est difficile de compenser la dispersion en longueurs d'onde de telle sorte que la dispersion en longueurs d'onde devienne égale à zéro en relation avec toutes les longueurs d'onde. Par conséquent, la forme d'onde de la lumière de signal est altérée du fait de l'interaction entre la dispersion en

longueurs d'onde qui n'a pas été compensée mais qui a été cumulée et l'effet non linéaire dans une fibre optique.

En tant que contre-mesure, on a proposé une ligne de transmission qui adopte une fibre de compensation de dispersion en tant que seconde moitié de son segment de transmission. La fibre de compensation de dispersion compense la dispersion en longueurs d'onde et la pente de dispersion en longueurs d'onde générées dans une première moitié du segment de transmission de la ligne de transmission. De façon davantage particulière, par exemple, une SMF de dispersion zéro à 1,3  $\mu\text{m}$  présentant une dispersion en longueurs d'onde positive et une pente de dispersion en longueurs d'onde positive est utilisée en tant que première moitié du segment de transmission de la ligne de transmission. Une fibre de compensation de dispersion présentant une dispersion en longueurs d'onde négative et une pente de dispersion en longueurs d'onde négative de manière à compenser la dispersion en longueurs et la pente de dispersion en longueurs d'onde générées dans la fibre de dispersion zéro à 1,3  $\mu\text{m}$  est utilisée en tant que seconde moitié du segment de transmission de la ligne de transmission. Par conséquent, la pente de dispersion en longueurs d'onde est diminuée, ce qui minimise la dispersion en longueurs d'onde cumulative. Eventuellement, une détérioration des caractéristiques de transmission peut être allégée.

Conformément à un article (2) écrit par M. Murakami et suivants et intitulé "Quarter terabit (25x10 Gb/s) over 9288 km WDM transmission experiment using nonlinear supported RZ pulse in higher order fiber dispersion managed line" (ECOC'98, pp. 79-81, 1998), une pente de dispersion en longueurs d'onde moyenne peut être minimisée jusqu'à 0,0067 ps/nm<sup>2</sup>/km. Plus spécifiquement, une fibre de dispersion zéro à 1,3  $\mu\text{m}$  est utilisée en tant que première moitié d'un segment de transmission d'une ligne de transmission et une fibre de compensation de dispersion est utilisée en tant que sa seconde moitié. La fibre de dispersion zéro à 1,3  $\mu\text{m}$  présente une longueur équivalant à 50% du segment de transmission et une dispersion en longueurs

d'onde positive. La fibre de compensation de dispersion présente une longueur équivalant à 50% du segment de transmission et une dispersion en longueurs d'onde négative.

En outre, selon un article (3) écrit par K. Yonenaga et suivants et intitulé "Dispersion-compensation-free 40-Gbit/sx4-channel WDM transmission experiment using zero-dispersion-flattened transmission line" (OFC'98, PD20, 1998), une pente de dispersion en longueurs d'onde moyenne peut être minimisée jusqu'à  $-0,0028 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ . Plus spécifiquement, une fibre de dispersion zéro à  $1,3 \mu\text{m}$  est utilisée en tant que première moitié d'un segment de transmission d'une ligne de transmission et une fibre de compensation de dispersion est utilisée en tant que sa seconde moitié. La fibre de dispersion zéro à  $1,3 \mu\text{m}$  présente une longueur équivalant à 55% du segment de transmission et une dispersion en longueurs d'onde positive. La fibre de compensation de dispersion présente une longueur équivalant à 45% du segment de transmission et une dispersion en longueurs d'onde négative.

En outre, conformément à un article (4) écrit par T. Kashiwada et suivants et intitulé "Ultra-low chromatic and polarization mode dispersion hybrid fiber links for ultra-high speed transmission systems" (OECC'98, 15C1-3, pp. 364-365, 1998), une pente de dispersion en longueurs d'onde moyenne peut être minimisée jusqu'à  $0,008 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ . Plus spécifiquement, une fibre de dispersion zéro à  $1,3 \mu\text{m}$  est utilisée en tant que première moitié d'un segment de transmission d'une ligne de transmission et une fibre de compensation de dispersion est utilisée en tant que sa seconde moitié. La fibre de dispersion zéro à  $1,3 \mu\text{m}$  présente une longueur équivalant à 84% du segment de transmission et une dispersion en longueurs d'onde positive. La fibre de compensation de dispersion présente une longueur équivalant à 16% du segment de transmission et une dispersion en longueurs d'onde négative.

Pour réaliser un système de transmission optique WDM qui présente une capacité plus importante et qui permette une

transmission longue distance, une ligne de transmission qui satisfasse certaines exigences, c'est-à-dire le fait que (a) une perte de transmission doit être faible, (b) une aire effective linéaire doit être importante, (c) la longueur d'onde d'une lumière de signal ne doit pas  
5 correspondre à une longueur d'onde de dispersion zéro de la ligne de transmission, (d) une valeur moyenne de dispersion en longueurs d'onde mesurée suivant une direction de distance de transmission doit être négative, (e) un intervalle de compensation de dispersion en longueurs d'onde cumulative doit être suffisamment important par  
10 rapport à un espace inter-répéteur et (f) une pente de dispersion en longueurs d'onde doit être faible ou doit pouvoir être compensée est requise.

Avec un système de transmission optique WDM classique qui utilise une ligne de transmission constituée en combinant une fibre de  
15 dispersion zéro à  $1,3 \mu\text{m}$  présentant une dispersion en longueurs d'onde positive et une fibre de compensation de dispersion présentant une dispersion en longueurs d'onde négative comme décrit ci-avant, l'aire effective non linéaire de la fibre de compensation de dispersion utilisée en tant que seconde moitié de la ligne de transmission est  
20 relativement faible et sa perte de transmission est relativement importante. Par conséquent, le système est susceptible d'un effet non linéaire et le rapport signal sur bruit optique devient faible. Par conséquent, même lorsque la dispersion en longueurs d'onde et la pente de dispersion en longueurs d'onde sont compensées, une  
25 caractéristique de transmission n'est pas améliorée de façon satisfaisante.

Maintenant, l'amplitude de l'amélioration au niveau d'une caractéristique de transmission sera estimée de façon quantitative afin de clarifier des problèmes sous-jacents au niveau des systèmes de  
30 transmission optique WDM décrits dans les articles présentés ci-avant. La caractéristique de transmission d'un système de transmission optique WDM dépend fortement d'un rapport signal sur bruit optique. Lorsqu'une sortie de chaque répéteur est plus élevée et qu'une perte

de transmission est plus faible, le rapport signal sur bruit optique présente une valeur plus importante. La sortie de répéteur et la perte de transmission peuvent par conséquent être utilisées en tant qu'indices indicatifs de l'amplitude de l'amélioration au niveau de la caractéristique de transmission du système de transmission optique WDM.

La sortie de répéteur est limitée par un effet non linéaire généré dans une ligne de transmission. Il est par conséquent important d'estimer de façon quantitative la survenue de l'effet non linéaire. En général, l'effet non linéaire  $\phi_{NL}$  peut être exprimé en tant que formule (1) qui suit :

$$\phi_{NL} = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \cdot \frac{n_2}{A_{eff}} \cdot P \cdot L \quad (1)$$

où  $\lambda$  représente la longueur d'onde d'une lumière de signal,  $n_2$  représente un coefficient d'un indice de réfraction non linéaire d'une ligne de transmission et  $A_{eff}$  représente une aire effective non linéaire de la ligne de transmission. En outre,  $P$  représente une puissance optique et  $L$  représente une distance de transmission.

Une fibre monomode (SMF) de dispersion zéro à 1,3  $\mu\text{m}$  présentant une dispersion en longueurs d'onde positive est utilisée en tant que première moitié de la ligne de transmission dont la longueur totale est  $L$ . Une fibre de compensation de dispersion (fibre à dispersion inversée ou RDF) présentant une dispersion en longueurs d'onde négative et une pente de dispersion en longueurs d'onde négative est utilisée en tant que sa seconde moitié. Ici, une distance depuis une extrémité d'incidence jusqu'à une frontière entre la SMF de dispersion zéro à 1,3  $\mu\text{m}$  et la RDF sera de  $l_0$ . Dans ce cas, l'effet non linéaire  $\phi_{NL}$  varie en fonction du rapport de la longueur de la RDF sur la longueur du segment de transmission.

La puissance optique  $P(l)$  en une position séparée d'une distance  $l$  ( $0 < l < L$ ) de l'extrémité d'incidence de la ligne de transmission est exprimée en tant que formule (2) qui suit :

$$P(l) = P(0) \cdot e^{-\alpha l} \quad (2)$$



où  $\alpha$  représente une perte de transmission (unité :  $\text{km}^{-1}$ ).

Par conséquent, l'effet non linéaire  $\phi_{NL}$  généré dans une ligne de transmission hybride qui est constituée par la SMF de dispersion zéro à  $1,3 \mu\text{m}$  et par la RDF peut être exprimé en tant que formule (3)

5 ci-après sur la base des formules (1) et (2) :

$$\phi_{NL} = \frac{2 \cdot \pi \cdot P_{(0)}}{\lambda} \int_0^L \frac{n_{2(l)}}{A_{eff(l)}} \cdot e^{-\alpha l} dl \quad (3)$$

$$n_{2(l)}, A_{eff(l)} = \begin{cases} n_{2,SMF} & A_{eff,SMF} & [0 \leq l \leq l_b] \\ n_{2,RDF} & A_{eff,RDF} & [l_b < l \leq L] \end{cases}$$

L'effet non linéaire  $\phi_{NL}$  donné par la formule (3) est standardisé en utilisant en tant que valeur de référence une valeur de l'effet non linéaire lorsqu'une ligne de transmission est constituée en utilisant  
10 seulement une DSF qui est une fibre de transmission typique. L'aire effective non linéaire de la DSF est divisée par l'effet non linéaire standardisé afin de calculer une aire effective non linéaire moyenne suivant une direction longitudinale de la ligne de transmission hybride  
15 en relation avec l'aire effective non linéaire de la ligne de transmission formée à l'aide de la DSF seule. Par conséquent, l'amplitude de la relaxation de l'effet non linéaire est calculée sur la base de l'effet non linéaire de la ligne de transmission formée à l'aide de la DSF seule, c'est-à-dire que l'amplitude de la relaxation dans la limite supérieure de  
20 la sortie de répéteur est calculée.

L'amplitude de l'amélioration d'une caractéristique de transmission de la ligne de transmission hybride en relation avec la caractéristique de transmission de la ligne de transmission formée à l'aide de la DSF seule résultant de la relaxation dans la limite  
25 supérieure des sorties de répéteur est exprimée comme suit :

$$10 \cdot \text{Log}\{A_{eff(1)}/A_{eff(2)}\} \quad [\text{dB}]$$

où  $A_{eff(1)}$  représente l'aire effective non linéaire moyenne suivant la direction longitudinale de la ligne de transmission hybride et  $A_{eff(2)}$  représente l'aire effective non linéaire de la ligne de transmission  
30 formée à l'aide de la DSF seule.

L'amplitude de l'amélioration d'une caractéristique de transmission résultant de la réduction de la perte de transmission est exprimée comme suit :

{perte(2) - perte(1)} x longueur du segment de transmission [dB]

- 5 où perte(1) représente une valeur (exprimée dans l'unité dB) indiquant une perte de transmission moyenne suivant la direction longitudinale de la ligne de transmission hybride et perte(2) représente une valeur (exprimée dans l'unité dB) indiquant une perte de transmission moyenne suivant une direction longitudinale de la ligne de transmission formée à l'aide de la DSF seule.
- 10

L'amplitude de l'amélioration  $I$  d'une caractéristique de transmission d'un système qui utilise la ligne de transmission hybride par rapport à une caractéristique de transmission d'un système qui utilise la ligne de transmission formée à l'aide de la DSF seule peut être évaluée de façon quantitative conformément à la formule (4) qui suit :

15

$$I = 10 \cdot \text{Log}\{A_{\text{eff}}(1)/A_{\text{eff}}(2)\} - \{\text{perte}(2) - \text{perte}(1)\} \text{ [dB]} \quad (4)$$

- Par exemple, on suppose que la distance de transmission  $L$  est de 50 km. La formule (4) qui exprime l'amplitude de l'amélioration  $I$  est résolue en utilisant les valeurs listées au niveau du tableau 1 de paramètres indiquant respectivement les caractéristiques de la SMF de dispersion zéro à 1,3  $\mu\text{m}$ , de la RDF et de la DSF.
- 20

Tableau 1

Paramètres de caractéristique	SMF de dispersion zéro à 1,3 $\mu\text{m}$	RDF	DSF
Aire effective non linéaire $A_{\text{eff}}$ ( $\mu\text{m}^2$ )	80	20 à 40	50
Coefficient de l'indice de réfraction non linéaire $n$ ( $\text{m}^2/\text{W}$ )	$2,8 \times 10^{-20}$	$3,6 \times 10^{-20}$	$3,3 \times 10^{-20}$
Perte de transmission Perte (dB/km)	0,18	0,2 à 0,5	0,2

- 25 Les valeurs de paramètre respectives concernant la SMF de dispersion zéro à 1,3  $\mu\text{m}$  dans le tableau 1 font référence à l'article (4)

mentionné ci-avant. Les valeurs de paramètre respectives concernant la RDF font référence à l'article (2) mentionné ci-avant et à un article (5) écrit par M. Onishi et suivants et intitulé "Optimization of dispersion-compensating fibers considering self-phase modulation suppression" (OFC 96, ThA2, pp. 200-201, 1996). Les valeurs de paramètre respectives concernant la DSF font référence à l'article (5) mentionné ci-avant. En outre, dans le tableau 1, la perte de transmission est exprimée selon l'unité dB/km. Pour résoudre la formule (3), une valeur convertie selon l'unité de  $\text{km}^{-1}$  est utilisée en tant que  $\alpha$ .

La figure 17 est un graphique qui représente les valeurs de l'amplitude de l'amélioration  $I$  d'une caractéristique de transmission qui sont calculées conformément aux conditions mentionnées ci-avant. Les longueurs de la SMF et de la RDF suivant l'axe des abscisses indiquent respectivement la longueur de la SMF de dispersion zéro à  $1,3 \mu\text{m}$  utilisée en tant que première moitié du segment de transmission et la longueur de la RDF utilisée en tant que sa seconde moitié. L'axe des ordonnées indique l'amplitude de l'amélioration  $I$  d'une caractéristique de transmission d'une ligne de transmission hybride. Les valeurs de l'amplitude d'amélioration  $I$  sont tracées en fonction du rapport de la longueur de la RDF dans le segment de transmission correspondant à la combinaison des paramètres respectifs concernant la RDF (perte de transmission  $P_{\text{eff}}$  et aire effective non linéaire  $A_{\text{eff}}$ ).

Comme représenté sur la figure 17, par comparaison avec lorsque la ligne de transmission est formée à l'aide de la DSF seule, une caractéristique de transmission de la ligne de transmission hybride tend à être améliorée lorsque la longueur de la RDF qui joue le rôle de seconde moitié devient plus courte.

En ce qui concerne les systèmes de transmission optique WDM décrits dans les articles (2) et (3) mentionnés ci-avant, l'amplitude de l'amélioration d'une caractéristique de transmission sera discutée en utilisant le procédé mentionné ci-avant. Cependant, les articles ne se réfèrent pas aux caractéristiques pratiques d'une fibre de

compensation de dispersion (RDF) utilisée en tant que seconde moitié du segment de transmission de la ligne de transmission. Pour les caractéristiques, il a été fait référence à un article (6) écrit par K. Mukasa et suivants et intitulé "Novel network fiber to manage dispersion at 1,55  $\mu\text{m}$  with combination of 1,3  $\mu\text{m}$  zero dispersion single mode fiber" (ECOC 97, pp. 127-130, 1997).

Dans les systèmes de transmission optique WDM décrits dans les articles (2) et (3), le rapport de la longueur de la RDF dont l'aire effective non linéaire est relativement petite sur la longueur du segment de transmission est important (environ 50%). Une aire effective non linéaire moyenne dans le segment de transmission est par conséquent faible. Ceci entrave l'allègement d'un effet non linéaire.

Plus spécifiquement, l'aire effective non linéaire de la SMF de dispersion zéro à 1,3  $\mu\text{m}$  utilisée en tant que première moitié de la ligne de transmission est aussi importante qu'approximativement 80  $\mu\text{m}^2$ . Une perte de transmission qui se produit dans la SMF de dispersion zéro à 1,3  $\mu\text{m}$  est aussi faible qu'approximativement 0,20 dB/km. Le diamètre d'un champ de mode dans la RDF utilisée en tant que seconde moitié de la ligne de transmission est de 5,8  $\mu\text{m}$ . En d'autres termes, l'aire effective non linéaire de la RDF est aussi faible qu'approximativement 26  $\mu\text{m}^2$  et une perte de transmission qui se produit dans la RDF est aussi importante qu'approximativement 0,25 dB/km. L'effet non linéaire  $\phi_{\text{NL}}$  dans la ligne de transmission est calculé conformément à la formule (3) puis une aire effective non linéaire moyenne suivant la direction longitudinale de la ligne de transmission en relation avec l'aire effective non linéaire de la ligne de transmission formée à l'aide de la DSF seule est calculée et sa valeur est d'approximativement 49  $\mu\text{m}^2$ . En outre, une perte de transmission qui se produit dans la ligne de transmission est d'approximativement 0,225 dB/km. Dans cet état, l'amplitude de l'amélioration  $I$  d'une caractéristique de transmission est calculée conformément à la formule (4). Les résultats de calcul sont tracés en tant que repères constitués par une étoile blanche sur la figure 17.

Maintenant, on prend en considération le fait que l'aire effective non linéaire d'une DSF utilisée de façon générale en tant que ligne de transmission est d'approximativement  $50 \mu\text{m}^2$  et qu'une perte de transmission qui se produit dans la DSF est de 0,20 dB/km.

- 5 Conformément aux configurations des systèmes de transmission optique WDM décrits dans les articles (2) et (3), la dispersion en longueurs d'onde et la pente de dispersion en longueurs d'onde peuvent être compensées. Cependant, les résultats d'amélioration d'une aire effective non linéaire et d'une perte de transmission sont
- 10 limités. Par comparaison avec la caractéristique de transmission de la ligne de transmission formée à l'aide de la DSF seule, la caractéristique de transmission de la ligne de transmission hybride est considérée comme étant davantage médiocre d'approximativement 0,85 dB.

- 15 Les problèmes sous-jacents dans le système de transmission optique WDM décrit dans l'article (4) mentionné ci-avant feront l'objet d'une discussion ci-après.

- La RDF à laquelle il est fait référence dans l'article (4) est conçue pour compenser une dispersion en longueurs d'onde
- 20 accumulée par la SMF de dispersion zéro à  $1,3 \mu\text{m}$  de première moitié dans un état dans lequel la longueur de la ligne de transmission est relativement courte. L'amplitude de compensation pour la dispersion en longueurs d'onde par distance unitaire doit par conséquent être relativement importante. Ceci conduit à une perte de transmission
- 25 importante et à une aire effective non linéaire faible. La thèse (4) ne se réfère pas à l'aire effective non linéaire de la RDF. L'aire effective non linéaire d'une RDF comme décrit dans l'article (6) sera par conséquent utilisée en tant que référence du fait que la dispersion en longueurs d'onde par distance unitaire dans cette RDF est équivalent à
- 30 approximativement -100 ps/nm/km.

L'aire effective non linéaire de la SMF de dispersion zéro à  $1,3 \mu\text{m}$  de première moitié est aussi importante qu'approximativement  $80 \mu\text{m}^2$ . Une perte de transmission qui se produit dans la SMF est

aussi faible qu'approximativement 0,20 dB/km. A l'opposé, l'aire effective non linéaire de la RDF de seconde moitié est aussi faible qu'approximativement  $20 \mu\text{m}^2$  et une perte de transmission qui se produit dans la RDF est aussi importante qu'approximativement 0,5 dB/km. Un effet non linéaire  $\phi_{\text{NL}}$  de la ligne de transmission est calculé conformément à la formule (3) puis une aire effective non linéaire moyenne suivant la direction longitudinale de la ligne de transmission formée à l'aide de la DSF seule est calculée comme valant approximativement  $68 \mu\text{m}^2$ . En outre, une perte de transmission qui se produit dans la ligne de transmission est d'approximativement 0,23 dB/km. L'amplitude de l'amélioration  $I$  d'une caractéristique de transmission est calculée conformément à la formule (4). Les résultats de calcul sont tracés en tant que repères constitués par une étoile noire sur la figure 17. L'aire effective non linéaire de la DSF et une perte de transmission survenue dans la DSF sont prises en considération. Même dans la configuration du système de transmission optique WDM décrit dans l'article (4), les résultats d'amélioration de l'aire effective non linéaire et de la perte de transmission sont limités. Par comparaison avec la caractéristique de transmission de la ligne de transmission formée à l'aide de la DSF seule, la caractéristique de transmission de la ligne de transmission hybride est considérée comme étant davantage médiocre d'approximativement 0,19 dB.

Comme mentionné ci-avant, pour autant que les systèmes de transmission optique WDM classiques décrits dans les articles sont concernés, bien que la dispersion en longueurs d'onde et la pente de dispersion en longueurs d'onde puissent être compensées, le résultat d'amélioration de la caractéristique de transmission est non satisfaisant.

En outre, un système de transmission optique WDM peut être configuré de telle sorte que des répéteurs soient liés en utilisant une ligne de transmission hybride réalisée en combinant une SMF de dispersion zéro à  $1,3 \mu\text{m}$  et une RDF. Dans ce cas, lorsqu'une valeur cumulative de dispersion en longueurs d'onde (dispersion en

longueurs d'onde cumulative) générée dans chaque segment inter-répéteur est positive, la valeur de crête de la puissance optique devient importante du fait de la présence d'impulsions optiques comprimées, ce qui fait qu'elle devient davantage susceptible d'un effet non linéaire.

5 Les problèmes mentionnés ci-avant seront décrits en prenant en tant qu'exemple le système de transmission optique WDM décrit dans l'article (2).

Conformément à la configuration système décrite dans l'article (2), une ligne de transmission réalisée en combinant une SMF de  
10 dispersion zéro à 1,3  $\mu\text{m}$  et une RDF est considérée en tant que chaque segment inter-répéteur. Une ligne de transmission formée à l'aide d'une fibre de compensation de dispersion permettant de compenser une dispersion en longueurs d'onde cumulative générée dans une pluralité de segments inter-répéteurs est installée selon des  
15 intervalles d'un nombre donné de segments inter-répéteurs.

Les figures 18A et 18B représentent de manière graphique un exemple d'une carte de dispersions en longueurs d'onde créée en utilisant les paramètres mentionnés dans l'article (2). La figure 18A représente une variation de la dispersion en longueurs d'onde sur dix  
20 segments inter-répéteurs. La figure 18B représente une variation de la dispersion en longueurs d'onde sur une centaine de segments inter-répéteurs.

Dans l'exemple représenté sur les figures 18A et 18B, la longueur d'un segment inter-répéteur est de 50 km et une dispersion  
25 en longueurs d'onde cumulative est compensée selon des intervalles de cinq segments inter-répéteurs. Un intervalle de compensation de dispersion en longueurs d'onde cumulative est cinq fois plus important que le segment inter-répéteur. Une dispersion en longueurs d'onde moyennée suivant la direction de distance de transmission est de -225  
30 ps/nm/km. La valeur de la dispersion en longueurs d'onde cumulative devient positive dans les premier, second, sixième et septième segments inter-répéteurs. La valeur de crête de la puissance optique devient plus importante du fait de l'effet de compression d'impulsions

optiques, ce qui fait qu'elle devient davantage susceptible d'un effet non linéaire. En outre, puisque l'intervalle de compensation de la dispersion en longueurs d'onde cumulative est relativement court, la valeur de la dispersion en longueurs d'onde cumulative est fréquemment ramenée à zéro. Il y a un risque que la forme d'onde soit distordue du fait de l'effet non linéaire.

Les figures 19A et 19B représentent un exemple d'une carte de dispersions en longueurs d'onde où un intervalle de compensation d'une dispersion en longueurs d'onde cumulative est dix fois plus important qu'un segment inter-répéteur. Une dispersion en longueurs d'onde moyennée suivant la direction de distance de transmission est de -225 ps/nm/km. Même dans ce cas, la valeur de la dispersion en longueurs d'onde cumulative devient positive dans les premier à quatrième segments inter-répéteurs. La valeur de crête de la puissance optique augmente du fait de l'effet de compression d'impulsions optiques, ce qui fait qu'elle devient susceptible d'un effet non linéaire. Dans une région dans laquelle la valeur de la dispersion en longueurs d'onde cumulative est positive, une lumière de signal WDM est propagée sur des segments successifs, ce qui fait qu'elle est davantage susceptible d'un effet non linéaire plus important du fait de la compression d'impulsions optiques.

Soit dit en passant, il est mis en exergue par H. Taga et suivants dans leur article (7) intitulé "Performance Evaluation of the Different Types of Fiber-Wavelength dispersion Equalization for IM-DD Ultralong-Distance Optical Communication Systems with Er doped Fiber Amplifiers" (IEEE Journal of Lightwave Technology, Vol. 12, n°9, September, 1994) qu'une caractéristique de transmission devient pire lorsque le nombre de fois où une lumière est propagée sur une ligne de transmission dans une région dans laquelle la valeur de la dispersion en longueurs d'onde cumulative est positive augmente.

#### RESUME DE L'INVENTION

La présente invention est destinée à surmonter les problèmes mentionnés ci-avant. Un objet de la présente invention consiste à



proposer un système de transmission optique WDM présentant une caractéristique de transmission excellente en utilisant une ligne de transmission hybride réalisée en combinant une fibre optique présentant une dispersion en longueurs d'onde positive et une fibre  
5 optique présentant une dispersion en longueurs d'onde négative, sous des conditions optimum. Un autre objet de la présente invention consiste à proposer un système de transmission optique WDM dans lequel un effet non linéaire est empêché d'être généré en atténuant un état selon lequel la valeur de la dispersion en longueurs d'onde  
10 cumulative devient positive, afin d'ainsi améliorer une caractéristique de transmission.

Pour atteindre les objets mentionnés ci-avant, selon un aspect de la présente invention, on propose un système de transmission optique WDM comprenant : une ligne de transmission optique qui  
15 comporte un premier segment de transmission formé en liant ensemble une première fibre optique présentant une dispersion en longueurs d'onde positive par rapport à une longueur d'onde de lumière de signal et une aire effective non linéaire relativement grande et une seconde fibre optique présentant une dispersion en longueurs  
20 d'onde négative par rapport à une longueur d'onde de lumière de signal et une aire effective non linéaire relativement petite ; et une unité d'amplification optique pour amplifier une lumière de signal multiplexée par division en longueurs d'onde qui est propagée sur la ligne de transmission optique, dans lequel la lumière de signal  
25 multiplexée par division en longueurs d'onde qui est entrée sur la ligne de transmission optique est envoyée sur une unité d'amplification optique après avoir été propagée successivement sur la première fibre optique et la seconde fibre optique du premier segment de transmission puis est envoyée sur l'unité d'amplification optique, et  
30 dans lequel la ligne de transmission optique est telle qu'un rapport de la longueur de la seconde fibre optique sur la longueur du premier segment de transmission est de 20% ou plus et de 40% ou moins.

Selon la configuration mentionnée ci-avant, les longueurs de la première fibre optique et de la seconde fibre optique constituant le premier segment de transmission de la ligne de transmission optique sont optimisées non seulement pour compenser la dispersion en longueurs d'onde et la pente de dispersion en longueurs d'onde mais également pour diminuer un effet non linéaire et une perte de transmission. Ceci conduit à une caractéristique de transmission améliorée.

En outre, dans le système de transmission optique WDM décrit ci-avant, la ligne de transmission optique peut comporter une pluralité de premiers segments de transmission, et l'unité d'amplification optique peut comporter une pluralité d'amplificateurs optiques installés entre les premiers segments de transmission respectifs. Conformément à cette configuration, la ligne de transmission optique comporte une pluralité de premiers segments de transmission dont chacun est constitué par la première fibre optique et par la seconde fibre optique. Une lumière de signal WDM qui est entrée sur la ligne de transmission optique se propagera sur les premiers segments de transmission respectifs en succession tout en étant amplifiée par les amplificateurs optiques.

En outre, la ligne de transmission optique est de préférence telle que la somme de la valeur de dispersion en longueurs d'onde cumulative générée dans la première fibre optique et de la valeur de dispersion en longueurs d'onde cumulative générée dans la seconde fibre optique est négative. Dans ce cas, la dispersion en longueurs d'onde cumulative générée dans les premiers segments de transmission devient négative, d'où ainsi la réalisation de la ligne de transmission dans laquelle un effet non linéaire est généré difficilement.

En outre, la configuration peut être telle que la ligne de transmission optique comporte un second segment de transmission formé à l'aide d'une troisième fibre optique présentant une dispersion en longueurs d'onde positive par rapport à une longueur d'onde de

lumière de signal, et que le second segment de transmission soit disposé au niveau de chaque intervalle d'un nombre préétabli de premiers segments de transmission afin de compenser une dispersion en longueurs d'onde cumulative négative générée dans les premiers segments de transmission. Dans cette configuration, la dispersion en longueurs d'onde cumulative négative générée dans les premiers segments de transmission est compensée par les seconds segments de transmission séparés les uns des autres d'un intervalle de compensation requis. Par conséquent, la génération d'un effet non linéaire peut être atténuée et une détérioration d'une caractéristique de transmission due à une dispersion en longueurs d'onde cumulative peut être empêchée.

En outre, le système de transmission optique WDM peut inclure une unité de compensation de dispersion en longueurs d'onde résiduelle permettant de compenser une dispersion en longueurs d'onde subsistant dans une lumière de signal multiplexée par division en longueurs d'onde qui s'est propagée sur la ligne de transmission optique. En outre, le système de transmission optique WDM peut inclure une unité de compensation de pente de dispersion en longueurs d'onde résiduelle permettant de compenser une pente de dispersion en longueurs d'onde subsistant dans une lumière de signal multiplexée par division en longueurs d'onde qui s'est propagée sur la ligne de transmission optique.

Conformément à cette configuration, une dispersion en longueurs d'onde qui pourrait ne pas être complètement compensée dans les premiers et seconds segments de transmission peut être compensée au moyen de l'unité de compensation de dispersion en longueurs d'onde résiduelle. En outre, la pente de dispersion en longueurs d'onde qui pourrait ne pas être complètement compensée dans les premiers et seconds segments de transmission peut être compensée au moyen de l'unité de compensation de pente de dispersion en longueurs d'onde résiduelle. Ainsi, une caractéristique de transmission davantage excellente peut être obtenue.

Selon un autre aspect de la présente invention, on propose un système de transmission optique WDM comprenant un dispositif d'application de dispersion en longueurs d'onde pour appliquer une dispersion en longueurs d'onde négative préétablie sur une lumière de signal multiplexée par division en longueurs d'onde à entrer sur la ligne de transmission optique mentionnée ci-avant. Selon une autre façon, une lumière peut être appliquée moyennant une dispersion en longueurs d'onde pour chaque longueur d'onde à multiplexer par division en longueurs d'onde. Le dispositif d'application de dispersion en longueurs d'onde applique de préférence une dispersion en longueurs d'onde négative dont la valeur absolue est égale ou supérieure à la valeur absolue de la dispersion en longueurs d'onde cumulative générée dans la première fibre optique.

Conformément à cette configuration, une lumière de signal WDM est propagée sur la ligne de transmission optique dans un état de dispersion en longueurs d'onde cumulative négative. Par conséquent, la probabilité de génération d'un effet non linéaire est abaissée et une caractéristique de transmission peut être améliorée.

En outre, le système de transmission optique WDM peut inclure un dispositif de compensation de dispersion en longueurs d'onde permettant de compenser une lumière de signal multiplexée par division en longueurs d'onde émise en sortie depuis la ligne de transmission optique quant à une dispersion en longueurs d'onde négative appliquée par le dispositif d'application de dispersion en longueurs d'onde. Dans ce cas, après que la lumière de signal WDM est propagée sur la ligne de transmission optique, une dispersion en longueurs d'onde qui a été appliquée à la lumière de signal WDM lorsqu'elle a été entrée sur la ligne de transmission optique est compensée au moyen du dispositif de compensation de dispersion en longueurs d'onde et ainsi, la compensation de dispersion en longueurs d'onde de la lumière de signal WDM est réalisée de façon davantage sûre.

Selon un autre aspect de la présente invention, on propose un système de transmission optique WDM comportant une ligne de transmission optique incluant les premiers et seconds segments de transmission mentionnés ci-avant où l'amplitude de la compensation  
5 réalisée dans les seconds segments de transmission est insuffisante pour une dispersion en longueurs d'onde cumulative négative générée dans un nombre préétabli de premiers segments de transmission de la ligne de transmission optique. Plus particulièrement, un taux de compensation d'une dispersion en longueurs d'onde cumulative dans  
10 les seconds segments de transmission est de préférence de 90% ou plus et de 95% ou moins.

Conformément à cette configuration, une dispersion en longueurs d'onde cumulative d'une lumière de signal WDM qui s'est propagée sur les seconds segments de transmission devient négative.  
15 Par conséquent, un effet non linéaire sera difficilement généré et une caractéristique de transmission peut être améliorée.

En outre, les aspects mentionnés ci-avant de la présente invention peuvent être combinés pour être mis en œuvre dans un système de transmission optique WDM. En combinant les aspects  
20 respectifs, une caractéristique de transmission peut être améliorée davantage fortement.

D'autres objets, d'autres caractéristiques et d'autres avantages de la présente invention apparaîtront au vu de la description présentée ci-avant qui concerne des modes de réalisation associés aux dessins  
25 annexés.

#### BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

La figure 1 est un schéma fonctionnel qui représente une configuration de base d'un premier mode de réalisation de la présente invention ;  
30 la figure 2 concerne le premier mode de réalisation et elle représente de façon graphique les résultats de calcul pour une aire effective non linéaire moyenne d'une ligne de transmission hybride ;

la figure 3 concerne le premier mode de réalisation et elle représente de façon graphique les résultats de calcul pour une perte de transmission moyenne de la ligne de transmission hybride ;

la figure 4 concerne le premier mode de réalisation et elle  
5 représente de façon graphique les résultats de calcul pour l'amplitude de l'amélioration de la caractéristique de transmission en relation avec des RDF générant différentes pertes de transmission ;

la figure 5 concerne le premier mode de réalisation et elle  
10 représente de façon graphique les résultats de calcul pour l'amplitude de l'amélioration de la caractéristique de transmission en relation avec une RDF utilisable en tant que ligne de transmission ;

la figure 6 concerne le premier mode de réalisation et elle représente de façon graphique les résultats de calcul pour une dispersion en longueurs d'onde requise pour des RDF ;

la figure 7 concerne le premier mode de réalisation et elle  
15 représente de façon graphique les résultats de calcul pour l'amplitude de l'amélioration de la caractéristique de transmission en relation avec des RDF présentant divers paramètres ;

la figure 8 concerne le premier mode de réalisation et elle  
20 représente de façon graphique les résultats de calcul pour une pente de dispersion en longueurs d'onde requise pour des RDF ;

la figure 9 concerne le premier mode de réalisation et elle  
25 représente de façon graphique les résultats de calcul pour une pente de dispersion en longueurs d'onde moyenne dans la ligne de transmission hybride ;

la figure 10 concerne le premier mode de réalisation et elle  
30 représente de façon graphique les résultats de calcul pour une pente de dispersion en longueurs d'onde requise en relation avec un taux de compensation de pente de dispersion en longueurs d'onde dans une RDF ;

la figure 11 est schéma fonctionnel qui représente une configuration de base d'un second mode de réalisation de la présente invention ;

les figures 12A et 12B représentent une carte de dispersions en longueurs d'onde conformément au seconde mode de réalisation, la figure 12A représentant une dispersion en longueurs d'onde générée dans un segment présentant une distance de transmission de jusqu'à 500 km et la figure 12B représentant une dispersion en longueurs d'onde générée dans un segment présentant une distance de transmission de jusqu'à 5000 km ;

les figures 13A et 13B représentent une carte de dispersions en longueurs d'onde selon une autre configuration concernant le second mode de réalisation, la figure 13A représentant une dispersion en longueurs d'onde générée dans un segment présentant une distance de transmission de jusqu'à 500 km et la figure 13B représentant une dispersion en longueurs d'onde générée dans un segment présentant une distance de transmission de jusqu'à 5000 km ;

la figure 14 est un schéma fonctionnel qui représente une configuration d'un troisième mode de réalisation de la présente invention ;

la figure 15 est un schéma fonctionnel qui représente une autre configuration concernant le troisième mode de réalisation ;

la figure 16 représente un exemple de systèmes de transmission optique WDM classiques ;

la figure 17 représente les résultats de calcul pour l'amplitude de l'amélioration de la caractéristique de transmission en relation avec un système de transmission optique WDM classique qui utilise une ligne de transmission hybride ;

les figures 18A et 18B représentent une carte de dispersions en longueurs d'onde avec un intervalle de compensation de dispersion en longueurs d'onde cumulative établi à 5 portées dans le système de transmission optique WDM classique qui utilise une ligne de transmission hybride, la figure 18A représentant une dispersion en longueurs d'onde générée dans un segment présentant une distance de transmission de jusqu'à 500 km et la figure 18B représentant une

dispersion en longueurs d'onde générée dans un segment présentant une distance de transmission de jusqu'à 5000 km ; et

les figures 19A et 19B représentent une carte de dispersions en longueurs d'onde avec un intervalle de compensation de dispersion en  
5 longueurs d'onde cumulative établi à 10 portées dans le système de transmission optique WDM classique qui utilise une ligne de transmission hybride, la figure 19A représentant une dispersion en longueurs d'onde générée dans un segment présentant une distance de transmission de jusqu'à 500 km et la figure 19B représentant une  
10 dispersion en longueurs d'onde générée dans un segment présentant une distance de transmission de jusqu'à 5000 km.

#### DESCRIPTION DES MODES DE REALISATION PREFERES

Des modes de réalisation de la présente invention seront décrits en conjonction avec les dessins.

15 La figure 1 est un schéma fonctionnel qui représente une configuration de base d'un système de transmission optique WDM selon un premier mode de réalisation.

Le système de transmission optique WDM représenté sur la figure 1 est constitué par exemple par une station d'émetteur optique  
20 1, une station de récepteur optique 2, une pluralité d'amplificateurs optiques (des répéteurs optiques) 3<sub>1</sub>, 3<sub>2</sub>, etc. et une ligne de transmission à fibre optique 4. Les amplificateurs optiques de la pluralité d'amplificateurs optiques sont agencés entre les stations d'émetteur et de récepteur selon des intervalles requis. La ligne de  
25 transmission à fibre optique 4 lie la station d'émetteur optique 1, les amplificateurs optiques respectifs 3<sub>1</sub>, 3<sub>2</sub>, etc. et la station de récepteur optique 2.

La station d'émetteur optique 1 inclut une pluralité d'émetteurs optiques (E/O) 1A, un multiplexeur 1B et un post-amplificateur 1C. Les  
30 émetteurs optiques de la pluralité d'émetteurs optiques (E/O) 1A émettent en sortie une pluralité de signaux optiques présentant des longueurs d'onde différentes. Le multiplexeur 1B multiplexe par division en longueurs d'onde la pluralité de signaux optiques présentant des



longueurs d'onde différentes. Le post-amplificateur 1C amplifie une lumière de signal WDM qui est émise en sortie depuis le multiplexeur 1B jusqu'à un niveau requis et émet en sortie une lumière de signal amplifiée sur la ligne de transmission à fibre optique 4.

- 5 La station de récepteur optique 2 inclut un préamplificateur 2A, un démultiplexeur 2B et une pluralité de récepteurs optiques (O/E) 2C. Le préamplificateur 2A amplifie une lumière de signal WDM qui est transmise sur la ligne de transmission à fibre optique 4 jusqu'à un niveau donné. Le démultiplexeur 2B sépare la lumière de sortie du
- 10 préamplificateur 2A selon une pluralité de signaux optiques conformément à leurs longueurs d'onde. Les récepteurs optiques de la pluralité de récepteurs optiques (O/E) 2C reçoivent une pluralité de signaux optiques.

- Les amplificateurs optiques  $3_1$ ,  $3_2$ , etc. sont des amplificateurs
- 15 optiques connus permettant d'amplifier collectivement une lumière de signal WDM qui a atteint les positions respectives de ceux-ci sur la ligne de transmission à fibre optique 4.

- La ligne de transmission à fibre optique 4 est constituée par un premier segment inter-répéteur  $4_1$  qui lie la station d'émetteur optique 1
- 20 et l'amplificateur optique  $3_1$ , par des second à  $(n-1)$ -ièmes segments inter-répéteurs  $4_2$  à  $4_{n-1}$  qui lient les amplificateurs optiques  $3_1$  à  $3_{n-1}$  et par le  $n$ -ième segment inter-répéteur  $4_n$  qui lie l'amplificateur optique  $3_{n-1}$  et la station de récepteur optique 2.

- La figure 1 représente un exemple de configurations dans
- 25 lesquelles par exemple une dispersion en longueurs d'onde cumulative générée dans les premier à neuvième segments inter-répéteurs est compensée dans le dixième segment inter-répéteur, c'est-à-dire qu'une dispersion en longueurs d'onde cumulative est compensée tous les dix segments inter-répéteurs. Dans ce cas, une ligne de transmission
- 30 hybride est adaptée vis-à-vis de segments inter-répéteurs (les premier à neuvième segments inter-répéteurs, etc.) dans lesquels la dispersion en longueurs d'onde cumulative n'est pas compensée. La ligne de transmission hybride a sa première moitié (côté d'émetteur) formée à

l'aide d'une SMF de dispersion zéro à  $1,3\ \mu\text{m}$  4a qui joue le rôle de première fibre optique présentant une dispersion en longueurs d'onde positive et une pente de dispersion en longueurs d'onde positive pour une bande de longueurs d'onde d'une lumière de signal WDM et a sa

5 seconde moitié (côté de récepteur) formée à l'aide d'une RDF 4b qui joue le rôle de seconde fibre optique présentant une dispersion en longueurs d'onde négative et une pente de dispersion en longueurs d'onde négative. Une ligne de transmission formée à l'aide d'une fibre de compensation de dispersion (DCF) 4c est adaptée vis-à-vis de

10 segments inter-répéteurs (le dixième segment inter-répéteur, etc.) dans lesquels une dispersion en longueurs d'onde cumulative est compensée. La DCF 4c joue le rôle de troisième fibre optique présentant une dispersion en longueurs d'onde qui est l'opposé de la dispersion en longueurs d'onde cumulative générée dans les neuf

15 segments inter-répéteurs en positions antérieures.

Ici, les premier à neuvième segments inter-répéteurs etc. formés à l'aide de la ligne de transmission hybride correspondent à un premier segment de transmission de la ligne de transmission optique. Le dixième segment inter-répéteur etc. formé à l'aide de la ligne de

20 transmission formée en utilisant la DCF 4c seule correspond à un second segment de transmission de la ligne de transmission optique.

La SMF de dispersion zéro à  $1,3\ \mu\text{m}$  4a est une fibre optique typique présentant une pente de dispersion en longueurs d'onde requise où la dispersion en longueurs d'onde devient égale à zéro à

25 environ  $1,3\ \mu\text{m}$  et la dispersion en longueurs d'onde devient importante lorsque la longueur d'onde de la lumière augmente. La SMF de dispersion zéro à  $1,3\ \mu\text{m}$  4a présente une dispersion en longueurs d'onde positive dans une bande de longueurs d'onde de lumière de signal WDM de  $1,55\ \mu\text{m}$  et similaire. La SMF de dispersion zéro à

30  $1,3\ \mu\text{m}$  4a présente une caractéristique constituée comme mentionné précédemment par une aire effective non linéaire importante et par une perte de transmission faible.

La RDF 4b est réalisée en concevant le matériau et la structure d'une fibre optique de telle sorte que la RDF 4b présente une dispersion en longueurs d'onde et une pente de dispersion en longueurs d'onde qui soient les opposés de celles de la SMF de dispersion zéro à 1,3  $\mu\text{m}$  4a pour la bande de longueurs d'onde de 1,55  $\mu\text{m}$  et similaire. La RDF 4b peut par conséquent compenser la dispersion en longueurs d'onde générée dans la SMF de dispersion zéro à 1,3  $\mu\text{m}$  4a. La RDF 4b est caractérisée en ce que son aire effective non linéaire est inférieure à celle de la SMF de dispersion zéro à 1,3  $\mu\text{m}$  4a et en ce que sa perte de transmission est relativement importante.

Il est préférable que la somme d'une valeur de dispersion en longueurs d'onde cumulative dans la SMF de dispersion zéro à 1,3  $\mu\text{m}$  4a et d'une valeur de dispersion en longueurs d'onde cumulative dans la RDF 4b devienne négative, en d'autres termes que la valeur de la dispersion en longueurs d'onde cumulative générée dans la totalité de la ligne de transmission hybride devienne négative en réalisant un établissement de telle sorte qu'une compensation au moyen de la RDF 4b pour la dispersion en longueurs d'onde générée dans la SMF de dispersion zéro à 1,3  $\mu\text{m}$  4a soit légèrement excessive. Ceci a pour but d'empêcher un état dans lequel, comme mentionné préalablement, lorsque la dispersion en longueurs d'onde cumulative devient positive, la valeur de crête de puissance optique augmente du fait d'un effet de compression d'impulsions optiques et par conséquent, la lumière devient davantage susceptible d'être soumise à un effet non linéaire. Cependant la présente invention n'est pas limitée à ce mode.

Les longueurs de la SMF de dispersion zéro à 1,3  $\mu\text{m}$  4a et de la RDF 4b sont établies de telle sorte que le rapport de la longueur de la RDF 4b sur la longueur d'un segment inter-répéteur (ci-après appelé taux de RDF) soit de 20% ou plus et de 40% ou moins. Les raisons pour lesquelles le taux de RDF est établi de cette façon seront décrites ultérieurement.

La DCF 4c est formée en utilisant une fibre optique présentant une dispersion en longueurs d'onde positive de manière à pouvoir compenser une dispersion en longueurs d'onde cumulative négative générée dans les neuf segments inter-répéteurs précédents de pré-  
5 étage. Plus spécifiquement, la SMF de dispersion zéro à  $1,3\ \mu\text{m}$  utilisée en tant que fibre optique de première moitié de la ligne de transmission hybride peut être utilisée en tant que DCF 4c.

La DCF 4c est adaptée tous les dix segments inter-répéteurs selon le présent mode de réalisation. Un intervalle de compensation de  
10 dispersion en longueurs d'onde cumulative n'est pas limité à ce cas. Cependant, comme mentionné préalablement, lorsque l'intervalle de compensation de dispersion en longueurs d'onde cumulative est trop court, il y a un risque que la dispersion en longueurs d'onde cumulative soit fréquemment ramenée à zéro et que par conséquent la lumière  
15 puisse être affectée par un effet non linéaire. Par conséquent, il est avantageux que l'intervalle de compensation de dispersion en longueurs d'onde cumulative soit constitué de manière à être suffisamment long. Il est considéré comme étant préférable que l'intervalle de compensation soit formé de manière à être dix fois ou  
20 plus plus long que le segment inter-répéteur. En outre, par exemple, dans le cas où la somme de la dispersion en longueurs d'onde cumulative dans la SMF de dispersion zéro à  $1,3\ \mu\text{m}$  4a et de la dispersion en longueurs d'onde cumulative dans la RDF 4b est établie à zéro, la DCF 4c (second segment de transmission) pour compenser  
25 la dispersion en longueurs d'onde cumulative peut être omise.

Puis une description de conditions pratiques pour établir la ligne de transmission hybride constituée en combinant la SMF de dispersion zéro à  $1,3\ \mu\text{m}$  4a et la RDF 4b sera maintenant présentée.

Pour commencer, une discussion sera menée en ce qui  
30 concerne le taux de RDF de manière à déterminer des conditions pour établir une ligne de transmission hybride de telle sorte que sa caractéristique de transmission soit améliorée.

Par exemple, dans le cas où les longueurs de la SMF de dispersion zéro à 1,3  $\mu\text{m}$  4a et de la RDF 4b sont modifiées moyennant l'hypothèse consistant en ce que la longueur d'un segment inter-répéteur d'une ligne de transmission est de 50 km, une aire effective non linéaire moyenne suivant une direction longitudinale d'une ligne de transmission hybride est calculée en relation avec une aire effective non linéaire d'une ligne de transmission formée à l'aide d'une DSF seule qui est une fibre de transmission typique. Plus spécifiquement, un effet non linéaire  $\phi_{NL}$  dans la ligne de transmission hybride est calculé conformément à la formule (3) mentionnée ci-avant. L'effet non linéaire  $\phi_{NL}$  est standardisé à l'aide d'un effet non linéaire dans la ligne de transmission formée à l'aide de la DSF seule. L'aire effective non linéaire de la DSF est divisée par la valeur de l'effet non linéaire standardisé afin de calculer une aire effective non linéaire moyenne dans la ligne de transmission hybride en relation avec l'aire effective non linéaire de la ligne de transmission formée à l'aide de la DSF seule. Ici, les données listées au niveau du tableau 1 sont utilisées en tant que valeurs de caractéristiques des fibres optiques respectives. Une perte de transmission dans la RDF 4b est fixée à 0,2 dB/km et l'aire effective non linéaire est modifiée selon trois pas de manière à être égale à 20, 30 et 40  $\mu\text{m}^2$ . La figure 2 représente de façon graphique les résultats de calcul d'une aire effective non linéaire moyenne.

Comme représenté sur la figure 2, plus le taux de RDF est faible (plus la SMF de dispersion zéro à 1,3  $\mu\text{m}$  de première moitié 4a est longue et plus la RDF de seconde moitié 4b est courte), plus l'aire effective non linéaire moyenne suivant la direction longitudinale de la ligne de transmission hybride est importante. Par exemple, si l'on suppose que le taux de RDF est de 50%, lorsque l'aire effective non linéaire de la RDF 4b est de 40  $\mu\text{m}^2$ , l'aire effective non linéaire moyenne est d'approximativement 58  $\mu\text{m}^2$ . Si l'on suppose que l'aire effective non linéaire de la RDF 4b est de 20  $\mu\text{m}^2$ , l'aire effective non linéaire moyenne est égale ou inférieure à 50  $\mu\text{m}^2$ , ce qui fait qu'elle

est inférieure à l'aire effective non linéaire de la DSF. Par conséquent, même lorsque le taux de RDF est établi à environ 50%, un degré de relaxation d'un effet non linéaire est considéré comme étant inférieur à celui obtenu en utilisant la ligne de transmission formée avec la DSF seule.

A l'opposé, si l'on suppose que le taux de RDF est de 20%, lorsque l'aire effective non linéaire de la RDF 4b est de  $40 \mu\text{m}^2$ , l'aire effective non linéaire moyenne est d'approximativement  $72 \mu\text{m}^2$ . Lorsque l'aire effective non linéaire de la RDF 4b est de  $20 \mu\text{m}^2$ , l'aire effective non linéaire moyenne est d'approximativement  $62 \mu\text{m}^2$ . Par conséquent, si le taux de RDF est établi à environ 20%, lorsque l'aire effective non linéaire de la RDF 4b est de  $40 \mu\text{m}^2$ , un degré de relaxation d'un effet non linéaire est considéré comme étant plus élevé d'approximativement 1,6 dB par comparaison avec celui obtenu dans la ligne de transmission formée à l'aide de la DSF seule. Lorsque l'aire effective non linéaire de la RDF 4b est de  $20 \mu\text{m}^2$ , un degré de relaxation d'un effet non linéaire est considéré comme étant supérieur d'approximativement 0,9 dB. Par conséquent, les sorties des amplificateurs optiques interconnectés sur la ligne de transmission hybride peuvent être augmentées proportionnellement au degré de relaxation.

Ensuite, une perte de transmission moyenne suivant une direction longitudinale d'une ligne de transmission hybride formée en combinant la SMF de dispersion zéro à  $1,3 \mu\text{m}$  4a et la RDF 4b est calculée. Ici, par exemple, une perte de transmission dans la RDF 4b est modifiée par pas dans une plage de 0,2 à 0,5 dB/km. La figure 3 représente des résultats de calcul d'une perte de transmission moyenne.

Comme représenté sur la figure 3, une perte de transmission dans la SMF de dispersion zéro à  $1,3 \mu\text{m}$  4a est aussi faible que 0,18 dB/km. Par conséquent, plus le taux de la SMF de dispersion zéro à  $1,3 \mu\text{m}$  4a sur un segment inter-répéteur est important (plus le taux de RDF est faible), plus la perte de transmission moyenne est faible. En

d'autres termes, la perte de transmission moyenne par segment inter-répéteur peut être rendue plus faible lorsque le taux de RDF est de 20% que lorsque le taux de RDF est de 50%. Ceci est avantageux pour améliorer la caractéristique de transmission.

- 5        Puis tout en considérant les résultats mentionnés ci-avant, l'amplitude de l'amélioration  $I$  de la caractéristique de transmission d'une ligne de transmission hybride en relation avec une ligne de transmission formée à l'aide d'une DSF seule fera l'objet d'une discussion en conjonction avec la formule (4).
- 10       Pour commencer, l'aire effective non linéaire de la RDF 4b est fixée à  $40 \mu\text{m}^2$  et une perte de transmission dans la RDF 4b est respectivement modifiée selon trois pas de manière à valoir 0,2, 0,25 et 0,5 dB/km. L'amplitude de l'amélioration  $I$  est ensuite calculée. La figure 4 représente les résultats de calcul.
- 15       Sur la figure 4, par exemple, si l'on suppose que la perte de transmission dans la RDF 4b est de 0,25 dB/km, lorsque le taux de RDF est de 50%, l'amplitude de l'amélioration  $I$  de la caractéristique de transmission est d'approximativement 0,1 dB. A l'opposé, lorsque le taux de RDF est de 20%, l'amplitude de l'amélioration  $I$  de la
- 20       caractéristique de transmission est d'approximativement 1,9 dB. Le degré d'amélioration est plus élevé d'approximativement 1,8 dB que celui obtenu lorsque le taux de RDF est de 50%. Apparemment, plus le taux de RDF dans la ligne de transmission hybride est faible, plus le degré d'amélioration de la caractéristique de transmission est élevée.
- 25       En outre, lorsque la perte de transmission dans la RDF 4b augmente jusqu'à 0,5 dB/km, le taux de RDF doit être établi à approximativement 15% ou moins de telle sorte que le degré d'amélioration de la caractéristique de transmission puisse être obtenu.
- 30       Cependant, il est souhaitable normalement qu'une perte de transmission dans une fibre optique utilisée en tant que ligne de transmission soit de 0,25 dB/km ou moins. Par conséquent, bien que la RDF 4b présentant une perte de transmission de 0,5 dB/km puisse

être réalisée, ce type de RDF 4b est considéré comme étant inapproprié pour une partie d'une ligne de transmission.

En tant que combinaison de paramètres de caractéristique de la RDF 4b qui est une ligne de transmission réaliste, l'aire effective non linéaire de  $40 \mu\text{m}^2$  et la perte de transmission de 0,2 dB/km semblent être des valeurs optimum, l'aire effective non linéaire de  $20 \mu\text{m}^2$  et la perte de transmission de 0,25 dB/km semblent être les valeurs les pires et l'aire effective non linéaire de  $30 \mu\text{m}^2$  et la perte de transmission de 0,225 dB/km pour constituer des valeurs moyennes sont supposées. L'amplitude de l'amélioration I de la caractéristique de transmission d'une ligne de transmission hybride est alors calculée sur la base de ces valeurs. La figure 5 représente de façon graphique les résultats de calcul.

Comme il apparaît au vu de la figure 5, lorsque la RDF 4b de l'aire effective non linéaire moyenne de  $30 \mu\text{m}^2$  et de la perte de transmission de 0,225 dB/km est utilisée en tant que référence, le taux de RDF doit être de 40% ou moins de telle sorte que l'amplitude de l'amélioration I de la caractéristique de transmission atteigne 0,5 dB ou plus. Ici, la raison pour laquelle l'amplitude de l'amélioration I de la caractéristique de transmission doit être de 0,5 dB ou plus sera décrite. C'est-à-dire que lorsque l'on considère une perte de connexion ou similaire du fait de la connexion entre la SMF de dispersion zéro à  $1,3 \mu\text{m}$  4a et la RDF 4b, il est considéré comme étant approprié que l'amplitude de l'amélioration I dont une caractéristique de transmission peut dans la réalité s'attendre d'être améliorée soit établie de manière à valoir 0,5 dB ou plus. Pour autant que la ligne de transmission hybride qui est constituée par la SMF de dispersion zéro à  $1,3 \mu\text{m}$  4a et par la RDF 4b est concernée, il peut être apprécié comme étant souhaitable que le taux de RDF soit établi à 40% ou moins.

Puis le taux de RDF fera l'objet d'une discussion en termes de compensation de dispersion en longueurs d'onde cumulative générée dans une ligne de transmission hybride.



Ici, on suppose respectivement qu'en tant que la DCF 4c pour compenser une dispersion en longueurs d'onde cumulative, une SMF de dispersion zéro à  $1,3 \mu\text{m}$  est utilisée pour la totalité de la longueur (50 km) d'un segment inter-répéteur et qu'un intervalle de compensation de dispersion en longueurs d'onde cumulative est établi à 5 portées, 10 portées et 15 portées (segments inter-répéteurs). Le taux de dispersion en longueurs d'onde requis de la RDF 4b de chaque ligne de transmission hybride est calculé conformément à des taux de RDF différents. La figure 6 représente les résultats de calcul.

Comme représenté sur la figure 6, même lorsque l'intervalle de compensation de dispersion en longueurs d'onde cumulative est modifié, le taux de dispersion en longueurs d'onde requis de la RDF 4b de chaque ligne de transmission hybride est maintenu à pratiquement la même valeur. Par exemple, dans le cas où l'intervalle de compensation de dispersion en longueurs d'onde cumulative est de 10 portées, lorsque le taux de RDF est respectivement établi à 33%, 25% et 20%, le taux de dispersion en longueurs d'onde de la RDF 4b dans une longueur d'onde de  $1560 \text{ nm}$  est établi respectivement à  $-44$ ,  $-65$  et  $-86 \text{ ps/nm/km}$ . Dans ce cas, la dispersion en longueurs d'onde cumulative dans 10 portées peut être convergée vers zéro par la DCF 4c.

Maintenant, référence sera faite à un article (8) écrit par Mukasa et suivants et intitulé "Novel Low Non-linear Network Fiber to Compensate Dispersion at  $1,55 \mu\text{m}$  with Combination of Conventional SMF" (C-3-76, at the General Meeting Society of Electronic Information Communications for 1997). L'article décrit que lorsque la dispersion en longueurs d'onde d'une RDF devient égale ou inférieure à  $-100 \text{ ps/nm/km}$ , une perte de transmission devient aussi importante que  $0,49 \text{ dB/km}$ . Par report à la figure 6, dans une région dans laquelle la valeur de dispersion en longueurs d'onde de la RDF 4b est égale ou inférieure à  $-100 \text{ ps/nm/km}$  (le taux de RDF est égal ou inférieur à 20%), une perte de transmission de la RDF augmente jusqu'à approximativement  $0,5 \text{ dB/km}$ .

L'amplitude de l'amélioration  $I$  de la caractéristique de transmission est calculée dans le cas où la perte de transmission est modifiée dans une plage de 0,2 à 0,5 dB/km et où l'aire effective non linéaire de la RDF 4b est modifiée dans une plage de 20 à 40  $\mu\text{m}^2$ . La figure 7 représente de façon graphique les résultats de calcul.

Comme représenté sur la figure 7, lorsque la perte de transmission de la RDF 4b est établie à 0,5 dB/km, le taux de RDF doit être égal ou inférieur à approximativement 15%. Selon une autre façon, l'amplitude de l'amélioration  $I$  de la caractéristique de transmission ne devient pas égale ou supérieure à zéro dB. Ceci démontre qu'il est non réalisable d'utiliser une RDF présentant une perte de transmission importante en tant que partie d'une ligne de transmission hybride. Par conséquent, une plage du taux de RDF dans laquelle le taux de dispersion en longueurs d'onde de la RDF devient égal ou supérieur à -100 ps/nm/km est considérée comme étant avantageuse en tant qu'exigence pour sélectionner une ligne de transmission hybride. Brièvement, il est considéré comme étant avantageux que le taux de RDF d'une ligne de transmission hybride soit égal ou supérieur à 20%.

Par conséquent, il peut être apprécié que le taux de RDF d'une ligne de transmission hybride utilisée en tant que chaque segment inter-répéteur peut être établi à 20% ou plus et 40% ou moins.

Puis une pente de dispersion en longueurs d'onde requise de la RDF 4b de chaque ligne de transmission hybride fera l'objet d'une discussion ci-après.

Ici, le système de transmission optique WDM présentant la configuration représentée sur la figure 1 est considéré à titre d'exemple. On suppose que la DCF 4c est utilisée pour compenser 100% de pente de dispersion en longueurs d'onde comme produit par chaque segment inter-répéteur formé à l'aide d'une ligne de transmission hybride. La pente de dispersion en longueurs d'onde de la RDF 4b de chaque ligne de transmission hybride qu'il est nécessaire de produire fera l'objet d'une discussion. La DCF 4c sera formée à

l'aide d'une SMF de dispersion zéro à 1,3  $\mu\text{m}$ , et un intervalle entre des compensations de dispersion en longueurs d'onde cumulatives devra être établi respectivement à 5 portées, 10 portées et 15 portées. La valeur de la pente de dispersion en longueurs d'onde requise pour la RDF 4b de chaque ligne de transmission hybride est calculée en relation avec des taux de RDF. La figure 8 représente de façon graphique les résultats de calcul.

Comme il apparaît au vu de la figure 8, la valeur de la pente de dispersion en longueurs d'onde requise de la RDF 4b de chaque ligne de transmission hybride atteint pratiquement la même valeur même lorsque l'intervalle de compensation de la dispersion en longueurs d'onde cumulative est modifié. Par exemple, dans le cas où l'intervalle de compensation est de 10 portées, lorsque le taux de RDF est établi respectivement à 33%, 25% et 20%, la valeur de la pente de dispersion en longueurs de la RDF 4b dans la longueur d'onde de 1560 nm est établie respectivement à -0,13, -0,19 et -0,25 ps/nm<sup>2</sup>/km. Dans ce cas, la DCF 4c peut compenser la pente de dispersion en longueurs d'onde dans 10 portées.

Pour le cas où la pente de dispersion en longueurs d'onde de la RDF 4b est modifiée par pas dans une plage de 0,01 à 0,37 ps/nm<sup>2</sup>/km, une valeur moyenne de la pente de dispersion en longueurs d'onde dans une ligne de transmission hybride est calculée conformément aux taux de RDF. La figure 9 représente de façon graphique les résultats de calcul.

Sur la figure 9, la pente de dispersion en longueurs d'onde moyenne dans une ligne de transmission hybride doit présenter diverses valeurs dans la plage des taux de RDF de 20% ou plus à 40% ou moins. Maintenant, référence sera faite à la dépendance vis-à-vis de la longueur d'onde du facteur Q comme représenté sur la figure 5 d'un article (9) écrit par M. Suzuki et suivants et intitulé "170 Gb/s Transmission over 10850 km Using Large Core Transmission Fiber" (PD17, OFC'98 PD). Dans un système qui est tel qu'une ligne de transmission à compensation constituée par une DSF et par une fibre

à âme importante (LCF) compense une dispersion en longueurs d'onde cumulative destinée à être générée lors d'une transmission hybride de façon similaire au cas mentionné ci-avant, en tant que caractéristique de transmission d'une lumière de signal WDM avec 16 canaux assignés à la bande de  $1,55 \mu\text{m}$ , le facteur Q d'un niveau élevé est obtenu dans une bande de longueurs d'onde correspondant à 6 à 10 canaux dans la région de bande de longueurs d'onde de lumière de signal totale. Une valeur moyenne de pente de dispersion en longueurs d'onde dans la ligne de transmission dans ce cas est d'approximativement  $0,1 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ . Par conséquent, lorsque la pente de dispersion en longueurs d'onde moyenne dans la ligne de transmission devient égale à approximativement un tiers de cette valeur, la caractéristique de transmission n'est pas considérée comme se détériorant dans la région de bande de longueurs d'onde de lumière de signal totale. Par conséquent, il est possible d'apprécier que la valeur absolue de la valeur moyenne de la pente de dispersion en longueurs d'onde peut être égale ou inférieure à  $0,03 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ .

Par report à la figure 9, dans tous les cas où le taux de RDF est égal ou supérieur à 20% et est égal ou inférieur à 40%, la valeur de la pente de dispersion en longueurs d'onde de la RDF 4b doit être égale ou supérieure à  $-0,16 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$  et doit être égale ou inférieure à  $-0,07 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$  de telle sorte que la valeur moyenne de la pente de dispersion en longueurs d'onde dans une ligne de transmission hybride tombe dans une plage de  $-0,03$  à  $+0,03 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ .

Lorsque le taux de RDF est de 20% ou plus et de 40% ou moins, si la valeur moyenne de la pente de dispersion en longueurs d'onde dans une ligne de transmission hybride peut tout simplement tomber dans une plage de  $-0,03$  à  $+0,03 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ , la valeur de la pente de dispersion en longueurs d'onde de la RDF 4b doit être égale ou supérieure à  $-0,37 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$  et doit être égale ou inférieure à  $-0,01 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ .

En outre, un taux de compensation de pente de dispersion en longueurs d'onde de la RDF 4b dans une ligne de transmission hybride fera l'objet d'une discussion ci-après.

Par exemple, tout comme dans le cas de la configuration système représentée sur la figure 1, dans un cas où un intervalle de compensation de la dispersion en longueurs d'onde cumulative est établi à 10 portée et où le taux de compensation de pente de dispersion en longueurs d'onde de la RDF 4b est modifié, la valeur de la pente de dispersion en longueurs d'onde requise de la RDF 4b dans chaque ligne de transmission hybride est alors calculée conformément aux taux de RDF. La figure 10 représente de façon graphique les résultats de calcul.

Comme il apparaît au vu de la figure 10, le taux de compensation de pente de dispersion en longueurs d'onde de la RDF 4b qui satisfait une exigence pour la valeur de pente de dispersion en longueurs d'onde mentionnée ci-avant de la RDF 4b ( $-0,16 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$  ou plus et  $-0,07 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$  ou moins) est de 28% ou plus et de 165% ou moins.

Sur la base des exigences mentionnées ci-avant pour l'établissement, on peut porter le jugement consistant en ce que, de préférence (1) le taux de RDF d'une ligne de transmission hybride utilisée en tant que chaque segment inter-répéteur est établi à 20% ou plus et 40% ou moins, (2) la valeur de la pente de dispersion en longueurs d'onde de la RDF 4b dans chaque ligne de transmission hybride est établie à  $-0,16 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$  ou plus et à  $-0,07 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$  ou moins et (3) le taux de compensation de pente de dispersion en longueurs d'onde de la RDF 4b dans chaque ligne de transmission hybride est établi à 28% ou plus et à 165% ou moins.

Une ligne de transmission hybride formée en conformité avec de telles exigences d'établissement appropriées est utilisée pour configurer un système de transmission optique WDM. Ainsi, par comparaison avec un système classique qui utilise une ligne de transmission hybride conçue en mettant l'accent sur la nécessité de

compenser la dispersion en longueurs d'onde et la pente de dispersion en longueurs d'onde, l'influence due à un effet non linéaire ou à la perte de transmission peut être traitée avec succès. Ceci conduit à une caractéristique de transmission davantage excellente.

5           Maintenant, le fonctionnement selon le premier mode de réalisation sera décrit.

          Dans le présent système de transmission optique WDM, des signaux optiques présentant différentes longueurs d'onde et générés dans les émetteurs optiques respectifs 1A dans la station d'émetteur  
10   optique 1 sont multiplexés par division en longueurs d'onde par le multiplexeur 1B et sont amplifiés jusqu'à un niveau requis par le post-amplificateur 1C puis sont envoyés sur le premier segment inter-répéteur 4<sub>1</sub> de la ligne de transmission à fibre optique 4.

          Dans le premier segment inter-répéteur 4<sub>1</sub>, lorsque la lumière  
15   de signal WDM est propagée sur la SMF de dispersion zéro à 1,3  $\mu\text{m}$  de première moitié 4a, la dispersion en longueurs d'onde positive est générée. Lorsque la lumière de signal WDM est propagée sur la RDF de seconde moitié 4b, une dispersion en longueurs d'onde négative est générée. Puisque les exigences pour établir une ligne de  
20   transmission hybride (taux de RDF et autres) sont optimisées comme mentionné préalablement, la probabilité qu'un effet non linéaire soit généré peut être atténuée. La dispersion en longueurs d'onde négative générée dans la RDF 4b est établie de manière à être supérieure à la dispersion en longueurs d'onde positive générée dans la SMF de  
25   dispersion zéro à 1,3  $\mu\text{m}$  4a. Par conséquent, la dispersion en longueurs d'onde cumulative générée dans la lumière de signal WDM qui a traversé le premier segment inter-répéteur 4<sub>1</sub> présente une valeur négative.

          La lumière de signal WDM qui traverse le premier segment  
30   inter-répéteur 4<sub>1</sub> est amplifiée jusqu'à un niveau requis par l'amplificateur optique 3<sub>1</sub> puis est envoyée sur le second segment inter-répéteur 4<sub>2</sub>. Dans le système similaire à celui représenté sur la figure 1 dans lequel la dispersion en longueurs d'onde cumulative est

compensée tous les dix segments inter-répéteurs, la lumière de signal WDM est propagée successivement sur les second à neuvième segments inter-répéteurs  $4_2$  à  $4_9$  et sur les amplificateurs optiques  $3_2$  à  $3_9$ . Par conséquent, la dispersion en longueurs d'onde cumulative négative augmente. La lumière de signal WDM qui traverse le neuvième segment inter-répéteur  $4_9$  et l'amplificateur optique  $3_9$  est envoyée sur le dixième segment inter-répéteur  $4_{10}$  et est propagée sur la DCF  $4c$  qui présente une dispersion en longueurs d'onde positive. Par conséquent, la dispersion en longueurs d'onde cumulative générée dans les second à neuvième segments inter-répéteurs  $4_2$  à  $4_9$  est compensée et est convergée vers pratiquement zéro. Ensuite, le même fonctionnement que celui mentionné ci-avant est répété tous les dix segments inter-répéteurs. La lumière de signal WDM est par conséquent transmise jusqu'à la station de récepteur optique 2 via les répéteurs.

La lumière de signal WDM qui a atteint la station de récepteur optique 2 est amplifiée jusqu'à un niveau requis par le préamplificateur 2A et est démultiplexée selon une pluralité de signaux optiques correspondant aux différentes longueurs d'onde afférentes par le démultiplexeur 2B puis ces signaux sont reçus et traités par les récepteurs optiques correspondants 2C.

Comme mentionné ci-avant, conformément au premier mode de réalisation, pour une ligne de transmission hybride constituée par la SMF de dispersion zéro à  $1,3\ \mu\text{m}$   $4a$  et par la RDF  $4b$ , les exigences pour établir le taux de RDF et autres sont optimisées. Ainsi, non seulement la dispersion en longueurs d'onde et la pente de dispersion en longueurs d'onde peuvent être compensées mais par ailleurs, l'influence due à un effet non linéaire ou à une perte de transmission peut être traitée afin d'améliorer la caractéristique de transmission. Par conséquent, il devient possible de réaliser un système de transmission optique WDM présentant une caractéristique de transmission excellente.

Puis un second mode de réalisation de la présente invention sera décrit ci-après.

Dans le premier mode de réalisation mentionné ci-avant, la dispersion en longueurs d'onde cumulative générée dans chaque ligne de transmission hybride est compensée selon des intervalle de compensation requis tels que dix portées et est par conséquent convergée jusqu'à pratiquement zéro. Cependant, conformément à ce procédé de compensation de dispersion en longueurs d'onde cumulative, de façon similaire au procédé classique décrit en conjonction avec la figure 19, un état selon lequel la dispersion en longueurs d'onde cumulative devient positive est répété périodiquement. Lorsque la dispersion en longueurs d'onde cumulative devient positive, la valeur de crête de la puissance optique augmente du fait de l'effet de compression d'impulsions optiques, ce qui fait qu'il y a un risque d'effet non linéaire. Selon le second mode de réalisation, en prenant une contre-mesure afin de toujours maintenir négative la dispersion en longueurs d'onde cumulative, l'effet non linéaire est empêché d'être généré, ce qui améliore par conséquent la caractéristique de transmission.

La figure 11 est un schéma fonctionnel qui représente une configuration de base d'un système de transmission optique WDM conformément au second mode de réalisation. Les mêmes index de référence sont assignés à des composants identiques à ceux du premier mode de réalisation.

Sur la figure 11, le présent système de transmission optique WDM comprend, en plus des même composants que ceux du premier mode de réalisation, des compensateurs de dispersion en longueurs d'onde 1D et 2D. Le compensateur de dispersion en longueurs d'onde 1D prévu dans la station d'émetteur optique 1 joue le rôle de dispositif d'application de dispersion en longueurs d'onde. Le compensateur de dispersion en longueurs d'onde 2D prévu dans la station de récepteur optique 2 joue le rôle de dispositif de compensation de dispersion en longueurs d'onde. Les autres composants sont identiques à ceux du



premier mode de réalisation et la description des composants sera par conséquent omise.

Le compensateur de dispersion en longueurs d'onde 1D présente une dispersion en longueurs d'onde négative préétablie et est  
5 interposé entre par exemple le multiplexeur 1B et le post-amplificateur 1C. La valeur absolue de la dispersion en longueurs d'onde négative du compensateur de dispersion en longueurs d'onde 1D est de  
préférence égale ou supérieure à la valeur absolue de la dispersion en  
longueurs d'onde positive générée dans la SMF de dispersion zéro à  
10 1,3  $\mu\text{m}$  4a utilisée en tant que première moitié de ligne de transmission hybride. Plus spécifiquement, la dispersion en longueurs d'onde générée dans le compensateur de dispersion en longueurs d'onde 1D peut être établie à -400 ps/nm ou moins.

Le compensateur de dispersion en longueurs d'onde 2D  
15 présente une dispersion en longueurs d'onde positive de manière à compenser la dispersion en longueurs d'onde négative appliquée par le compensateur de dispersion en longueurs d'onde 1D et il est installé par exemple dans un pré-étage du préamplificateur 2A. Le  
compensateur de dispersion en longueurs d'onde 2D peut être omis  
20 lorsqu'il est non nécessaire de compenser la dispersion en longueurs d'onde négative appliquée par le compensateur de dispersion en longueurs d'onde 1D pendant le traitement de réception de la lumière de signal WDM.

Dans le système de transmission optique WDM présentant la  
25 configuration mentionnée ci-avant, comme représenté selon une carte de dispersions en longueurs d'onde de la figure 12A, la lumière de signal WDM se voit appliquer une dispersion en longueurs d'onde négative de -450 ps/nm ou similaire par le compensateur de dispersion en longueurs d'onde 1D. La lumière de signal WDM est envoyée sur le  
30 premier segment inter-répéteur 4<sub>1</sub> depuis la station d'émetteur optique 1.

Dans le premier segment inter-répéteur 4<sub>1</sub>, lorsque la lumière de signal WDM est propagée sur la SMF de dispersion zéro à 1,3  $\mu\text{m}$

4a, la dispersion en longueurs d'onde est augmentée. Cependant, avant de devenir une valeur positive, la dispersion en longueurs d'onde commence à diminuer puisque la SMF de dispersion zéro à 1,3  $\mu\text{m}$  4a est relayée par la RDF 4b dans la ligne de transmission. Par conséquent, le taux de dispersion en longueurs d'onde de la lumière de signal WDM reste négatif.

En outre, la lumière de signal WDM est propagée successivement sur les second à neuvième segments inter-répéteurs, ce qui conduit à l'accumulation de la dispersion en longueurs d'onde négative. Lorsque la lumière de signal WDM atteint le dixième segment inter-répéteur, la DCF 4c présentant la dispersion en longueurs d'onde positive compense la dispersion en longueurs d'onde cumulative et en tant que résultat, la valeur de la dispersion en longueurs d'onde devient la même (-450 ps/nm) que celle de la lumière de signal WDM envoyée depuis la station d'émetteur optique 1. Ensuite, le même fonctionnement est répété tous les dix segments inter-répéteurs. La lumière de signal WDM est par conséquent transmise sur la station de récepteur optique 2 via les répéteurs. La figure 12B représentent une carte de dispersions en longueurs d'onde générée lorsqu'une distance de transmission est rendue égale à 5000 km.

La lumière de signal WDM qui a atteint la station de récepteur optique 2 est reçue pour être traitée après que sa dispersion en longueurs d'onde négative qui a été appliquée à l'instant de la transmission a été compensée par le compensateur de dispersion en longueurs d'onde 2D. Comme mentionné ci-avant, selon le second mode de réalisation, la station d'émetteur optique 1 comprend le compensateur de dispersion en longueurs d'onde 1D présentant une dispersion en longueurs d'onde négative dont la valeur absolue est supérieure à celle de la dispersion en longueurs d'onde positive générée dans la SMF de dispersion zéro à 1,3  $\mu\text{m}$  4a de la ligne de transmission hybride. Par conséquent, tandis qu'une lumière de signal WDM est transmise depuis la station d'émetteur optique 1 jusqu'à la station de récepteur optique 2 via les répéteurs, la dispersion en

longueurs d'onde de la lumière de signal WDM reste toujours négative. Par conséquent, une ligne de transmission qui génère plus difficilement un effet non linéaire peut être réalisée et une caractéristique de transmission peut être davantage améliorée. En outre, en prévoyant le compensateur de dispersion en longueurs d'onde 2D, puisque la dispersion en longueurs d'onde de la lumière de signal WDM est compensée de façon davantage fiable, une caractéristique davantage excellente peut être obtenue.

Selon le second mode de réalisation, le compensateur de dispersion en longueurs d'onde 1D est prévu dans la station d'émetteur optique 1 de telle sorte que la dispersion en longueurs d'onde de la lumière de signal WDM restera négative. Cependant, la dispersion en longueurs d'onde de la lumière WDM ne doit pas nécessairement rester toujours négative. En diminuant le nombre de fois selon lequel la dispersion en longueurs d'onde devient positive, la probabilité qu'un effet non linéaire soit généré peut être abaissée et la caractéristique de transmission peut être améliorée.

Pour être davantage spécifique, au lieu de prévoir le compensateur de dispersion en longueurs d'onde 1D, l'amplitude de compensation de la dispersion en longueurs d'onde cumulative dans la DCF 4c est diminuée afin de minimiser le nombre de fois selon lequel la dispersion en longueurs d'onde de la lumière de signal WDM devient positive. C'est-à-dire que selon le premier mode de réalisation, la compensation de la dispersion en longueurs d'onde cumulative est mise en œuvre dans chaque DCF 4c de telle sorte que le taux de dispersion en longueurs d'onde cumulative sera pratiquement à zéro. Au lieu de cet établissement, l'amplitude de compensation de la dispersion en longueurs d'onde cumulative est établie de manière à être légèrement insuffisante. De préférence, la compensation de dispersion en longueurs d'onde cumulative dans la DCF 4c est établie de manière à valoir à 90% ou plus et 95% ou moins.

Conformément à cet établissement/réglage, comme représenté sur les figures 13A et 13B, lorsque la distance de transmission devient

plus longue, la dispersion en longueurs d'onde cumulative devient négative. Par conséquent, par comparaison avec le premier mode de réalisation, puisqu'un effet non linéaire est difficilement généré, la caractéristique de transmission peut être améliorée.

5        Puis un troisième mode de réalisation de la présente invention sera décrit ci-après.

Conformément à un système de transmission optique WDM conformément au troisième mode de réalisation, la pente de dispersion en longueurs d'onde résiduelle qui pourrait ne pas être compensée  
10    pour la ligne de transmission à fibre optique 4 selon les modes de réalisation mentionnés ci-avant est compensée afin d'ainsi encore améliorer la caractéristique de transmission.

La figure 14 est un schéma fonctionnel qui représente une configuration schématique d'un système de transmission optique WDM  
15    du troisième mode de réalisation.

Par report à la figure 14, le système de transmission optique WDM comporte, en plus des même composants que ceux par exemple du premier mode de réalisation, des compensateurs de pente de dispersion en longueurs d'onde résiduelle 1E et 2E. Les  
20    compensateurs de pente de dispersion en longueurs d'onde résiduelle 1E et 2E qui jouent le rôle d'unités de compensation de pente de dispersion en longueurs d'onde résiduelle sont respectivement prévus dans la station d'émetteur optique 1 et dans la station de récepteur optique 2. Les autres composants sont identiques à ceux du premier  
25    mode de réalisation.

Chacun des compensateurs de pente de dispersion en longueurs d'onde résiduelle 1E et 2E présente une pente de dispersion en longueurs d'onde requise préétablie de manière à correspondre à la pente de dispersion en longueurs d'onde résiduelle qui pourrait ne pas  
30    être compensée par la ligne de transmission à fibre optique 4. Le compensateur de pente de dispersion en longueurs d'onde résiduelle 1E sur le côté d'émission applique à l'avance une pente de dispersion en longueurs d'onde sur la lumière de signal WDM à envoyer sur la

ligne de transmission à fibre optique 4 afin d'ainsi alléger la pente de dispersion en longueurs d'onde résiduelle générée dans la ligne de transmission à fibre optique 4. En outre, le compensateur de pente de dispersion en longueurs d'onde résiduelle 2E sur le côté de réception  
5 compense pour finir la pente de dispersion en longueurs d'onde résiduelle subsistant dans la lumière de signal WDM qui s'est propagée sur la ligne de transmission à fibre optique 4.

Selon le troisième mode de réalisation, puisque la pente de dispersion en longueurs d'onde générée dans la lumière de signal  
10 WDM peut être compensée de façon fiable, un système de transmission optique WDM présentant une caractéristique de transmission davantage excellente peut être réalisé.

Selon le troisième mode de réalisation, les compensateurs de pente de dispersion en longueurs d'onde résiduelle sont installés à la  
15 fois dans la station d'émetteur optique et dans la station de récepteur optique. La présente invention n'est pas limitée à ce mode. Le compensateur de pente de dispersion en longueurs d'onde résiduelle peut être installé dans soit la station d'émetteur optique, soit la station de récepteur optique. Sinon, comme représenté sur la figure 15, le  
20 compensateur de pente de dispersion en longueurs d'onde résiduelle peut être installé au milieu de la ligne de transmission à fibre optique 4.

En outre, le système de transmission optique WDM est conçu pour compenser une pente de dispersion en longueurs d'onde résiduelle. Selon une variante, un compensateur de dispersion en  
25 longueurs d'onde résiduelle jouant le rôle d'unité de compensation de dispersion en longueurs d'onde résiduelle peut être installé dans la station d'émetteur optique ou dans la station de récepteur optique ou au milieu de la ligne de transmission à fibre optique de telle sorte qu'une dispersion en longueurs d'onde résiduelle qui ne pourrait pas  
30 être compensée par la ligne de transmission à fibre optique 4 puisse être compensée. En outre, dans les premier à troisième modes de réalisation mentionnés ci-avant, le système comprend la ligne de transmission optique qui est constituée par une pluralité (n) de

segments inter-répéteurs. La présente invention n'est pas limitée à ce mode. Par exemple, même dans un cas où une ligne de transmission hybride satisfaisant l'exigence de la présente invention peut être adaptée vis-à-vis d'une ligne de transmission optique constituée par un  
5 seul segment de transmission, la caractéristique de transmission peut être améliorée.

## REVENDECATIONS

1. Système de transmission optique à multiplexage par division en longueurs d'onde comprenant :

une ligne de transmission optique (4) qui comporte un premier segment de transmission (4<sub>1</sub>) formé en liant ensemble une première  
5 fibre optique (4a) présentant une dispersion en longueurs d'onde positive par rapport à une longueur d'onde de lumière de signal et une aire effective non linéaire relativement grande et une seconde fibre optique (4b) présentant une dispersion en longueurs d'onde négative par rapport à une longueur d'onde de lumière de signal et une aire  
10 effective non linéaire relativement petite ; et

une unité d'amplification optique (3<sub>1</sub>) pour amplifier une lumière de signal multiplexée par division en longueurs d'onde qui est propagée sur ladite ligne de transmission optique,

dans lequel ladite lumière de signal multiplexée par division en  
15 longueurs d'onde qui est entrée sur ladite ligne de transmission optique (4) est propagée successivement sur ladite première fibre optique (4a) et ladite seconde fibre optique (4b) dudit premier segment de transmission (4<sub>1</sub>) puis est envoyée sur ladite unité d'amplification optique (3<sub>1</sub>) ;

20 ledit système de transmission optique à multiplexage par division en longueurs d'onde étant caractérisé en ce que ladite ligne de transmission optique (4) est telle qu'un rapport de la longueur de ladite seconde fibre optique (4b) sur la longueur dudit premier segment de transmission (4<sub>1</sub>) est de 20% ou plus et de 40% ou moins.

25

2. Système de transmission optique à multiplexage par division en longueurs d'onde selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite ligne de transmission optique (4) comporte une pluralité de premiers segments de transmission (4<sub>1</sub> à 4<sub>n-1</sub>) et ladite unité  
30 d'amplification optique comporte une pluralité d'amplificateurs optiques

( $3_1$  à  $3_{n-1}$ ) installés entre lesdits premiers segments de transmission respectifs.

3. Système de transmission optique à multiplexage par  
5 division en longueurs d'onde selon la revendication 2, caractérisé en  
ce que ladite ligne de transmission optique (4) est telle que la somme  
de la valeur de dispersion en longueurs d'onde cumulative générée  
dans ladite première fibre optique (4a) et de la valeur de dispersion en  
10 longueurs d'onde cumulative générée dans ladite seconde fibre  
optique (4b) est négative.

4. Système de transmission optique à multiplexage par  
division en longueurs d'onde selon la revendication 3, caractérisé en  
ce que ladite ligne de transmission optique (4) comporte un second  
15 segment de transmission ( $4_n$ ) formé à l'aide d'une troisième fibre  
optique (4c) présentant une dispersion en longueurs d'onde positive et  
ledit second segment de transmission est disposé au niveau de  
chacun des intervalles d'un nombre préétabli de premiers segments de  
transmission ( $4_1$  à  $4_{n-1}$ ) afin de compenser une dispersion en longueurs  
20 d'onde cumulative négative générée dans lesdits premiers segments  
de transmission.

5. Système de transmission optique à multiplexage par  
division en longueurs d'onde selon la revendication 4, caractérisé en  
25 ce que ladite troisième fibre optique (4c) est du même type que celui  
de ladite première fibre optique (4a).

6. Système de transmission optique à multiplexage par  
division en longueurs d'onde selon la revendication 1, caractérisé en  
30 ce que ladite ligne de transmission optique (4) est telle que ladite  
première fibre optique (4a) est une fibre de dispersion zéro à  $1,3 \mu\text{m}$  et  
ladite seconde fibre optique (4b) est une fibre de compensation de  
dispersion.



7. Système de transmission optique à multiplexage par division en longueurs d'onde selon la revendication 6, caractérisé en ce que ladite ligne de transmission optique (4) est telle que la valeur  
5 d'une pente de dispersion en longueurs d'onde générée dans ladite seconde fibre optique (4b) est de  $-0,16 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$  ou plus et de  $-0,07 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$  ou moins.

8. Système de transmission optique à multiplexage par  
10 division en longueurs d'onde selon la revendication 6, caractérisé en ce que ladite ligne de transmission optique (4) est telle qu'un taux de compensation de la pente de dispersion en longueurs d'onde de ladite seconde fibre optique (4b) sur la pente de dispersion en longueurs d'onde de ladite première fibre optique (4a) est de 28% ou plus et de  
15 165% ou moins.

9. Système de transmission optique à multiplexage par division en longueurs d'onde selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une unité de compensation de dispersion  
20 en longueurs d'onde résiduelle (2D) pour compenser une dispersion en longueurs d'onde subsistant dans une lumière de signal multiplexée par division en longueurs d'onde qui a été propagée sur ladite ligne de transmission optique (4).

25 10. Système de transmission optique à multiplexage par division en longueurs d'onde selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une unité de compensation de pente de dispersion en longueurs d'onde résiduelle (2E) pour compenser une  
30 pente de dispersion en longueurs d'onde subsistant dans une lumière de signal multiplexée par division en longueurs d'onde qui a été propagée sur ladite ligne de transmission optique (4).

11. Système de transmission optique à multiplexage par division en longueurs d'onde, comprenant :

une ligne de transmission optique (4) qui comporte un premier segment de transmission (4<sub>1</sub>) formé en liant ensemble une première  
5 fibre optique (4a) présentant une dispersion en longueurs d'onde positive par rapport à une longueur d'onde de lumière de signal et une aire effective non linéaire relativement grande et une seconde fibre optique (4b) présentant une dispersion en longueurs d'onde négative par rapport à une longueur d'onde de lumière de signal et une aire effective non linéaire relativement petite ; et

10 une unité d'amplification optique (3<sub>1</sub>) pour amplifier une lumière de signal multiplexée par division en longueurs d'onde qui est propagée sur ladite ligne de transmission optique,

15 dans lequel ladite lumière de signal multiplexée par division en longueurs d'onde qui est entrée sur ladite ligne de transmission optique (4) est propagée successivement sur ladite première fibre optique (4a) et ladite seconde fibre optique (4b) dudit premier segment de transmission (4<sub>1</sub>) puis est envoyée sur ladite unité d'amplification optique (3<sub>1</sub>) ;

20 ledit système de transmission optique à multiplexage par division en longueurs d'onde étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre un moyen d'application de dispersion en longueurs d'onde (1D, 2D) pour appliquer une dispersion en longueurs d'onde négative préétablie sur ladite lumière de signal multiplexée par division en  
25 longueurs d'onde entrée sur ladite ligne de transmission optique (4).

12. Système de transmission optique à multiplexage par division en longueurs d'onde selon la revendication 11, caractérisé en ce que ledit moyen d'application de dispersion en longueurs d'onde  
30 (1D, 2D) applique une dispersion en longueurs d'onde négative dont la valeur absolue est égale ou supérieure à la valeur absolue de la dispersion en longueurs d'onde cumulative générée dans ladite première fibre optique (4a).

13. Système de transmission optique à multiplexage par division en longueurs d'onde selon la revendication 11, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un moyen de compensation de dispersion en longueurs d'onde pour compenser une dispersion en longueurs d'onde négative appliquée à ladite lumière de signal multiplexée par division en longueurs d'onde émise en sortie depuis ladite ligne de transmission optique (4) au moyen dudit moyen d'application de dispersion en longueurs d'onde (1D, 2D).

10

14. Système de transmission optique à multiplexage par division en longueurs d'onde selon la revendication 11, caractérisé en ce que ladite ligne de transmission optique (4) comporte une pluralité de premiers segments de transmission ( $4_1$  à  $4_{n-1}$ ) et ladite unité d'amplification optique comporte une pluralité d'amplificateurs optiques ( $3_1$  à  $3_{n-1}$ ) installés entre lesdits premiers segments de transmission respectifs.

15

15. Système de transmission optique à multiplexage par division en longueurs d'onde selon la revendication 14, caractérisé en ce que ladite ligne de transmission optique (4) est telle que la somme de la valeur de dispersion en longueurs d'onde cumulative générée dans ladite première fibre optique (4a) et de la valeur de dispersion en longueurs d'onde cumulative générée dans ladite seconde fibre optique (4b) est négative.

25

16. Système de transmission optique à multiplexage par division en longueurs d'onde selon la revendication 15, caractérisé en ce que ladite ligne de transmission optique comporte un second segment de transmission ( $4_n$ ) formé à l'aide d'une troisième fibre optique (4c) présentant une dispersion en longueurs d'onde positive et ledit second segment de transmission est disposé au niveau de chacun des intervalles d'un nombre préétabli de premiers segments de

30

transmission ( $4_1$  à  $4_{n-1}$ ) afin de compenser une dispersion en longueurs d'onde cumulative négative générée dans lesdits premiers segments de transmission.

- 5            17. Système de transmission optique à multiplexage par division en longueurs d'onde, comprenant :
- une ligne de transmission optique (4) comportant une pluralité de premiers segments de transmission ( $4_1$  à  $4_{n-1}$ ) dont chacun est formé en liant ensemble une première fibre optique (4a) présentant
- 10            une dispersion en longueurs d'onde positive par rapport à une longueur d'onde de lumière de signal et une aire effective non linéaire relativement grande et une seconde fibre optique (4b) présentant une dispersion en longueurs d'onde négative par rapport à une longueur d'onde de lumière de signal et une aire effective non linéaire
- 15            relativement petite et un second segment de transmission ( $4_n$ ) formé à l'aide d'une troisième fibre optique (4c) présentant une dispersion en longueurs d'onde permettant de compenser une dispersion en longueurs d'onde cumulative négative générée dans ledit nombre préétabli de premiers segments de transmission ; et
- 20            une unité d'amplification optique ( $3_1$  à  $3_{n-1}$ ) pour amplifier une lumière de signal multiplexée par division en longueurs d'onde qui s'est propagée sur ladite ligne de transmission optique (4),
- dans lequel ladite lumière de signal multiplexée par division en longueurs d'onde entrée sur ladite ligne de transmission optique (4) est
- 25            propagée successivement sur ladite première fibre optique (4a) et ladite seconde fibre optique (4b) de chacun desdits premiers segments de transmission puis est envoyée sur ladite unité d'amplification optique ; et ladite lumière de signal multiplexée par division en longueurs d'onde est propagée sur ledit nombre préétabli de premiers
- 30            segments de transmission puis est envoyée sur ledit second segment de transmission ; et
- ledit système de transmission optique à multiplexage par division en longueurs d'onde étant caractérisé en ce que ladite ligne de

transmission optique (4) est établie de telle sorte que l'amplitude de compensation dans ledit second segment de transmission sera insuffisante pour une dispersion en longueurs d'onde cumulative négative générée dans ledit nombre préétabli de premiers segments  
5 de transmission.

18. Système de transmission optique à multiplexage par division en longueurs d'onde selon la revendication 17, caractérisé en ce que ladite ligne de transmission optique (4) est telle qu'un taux de  
10 compensation d'une dispersion en longueurs d'onde cumulative dans ledit second segment de transmission ( $4_n$ ) est de 90% ou plus et de 95% ou moins.

19. Système de transmission optique à multiplexage par  
15 division en longueurs d'onde selon la revendication 17, caractérisé en ce que ladite troisième fibre optique (4c) est du même type que celui de ladite première fibre optique (4a).

20. Système de transmission optique à multiplexage par  
20 division en longueurs d'onde selon la revendication 17, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un moyen d'application de dispersion en longueurs d'onde (1D, 2D) pour appliquer une dispersion en longueurs d'onde négative préétablie à ladite lumière de signal multiplexée par division en longueurs d'onde entrée sur ladite ligne de transmission  
25 optique (4).

21. Système de transmission optique à multiplexage par division en longueurs d'onde selon la revendication 11 ou 17, caractérisé en ce que ladite ligne de transmission optique (4) est telle  
30 que le rapport de la longueur de ladite seconde fibre optique (4b) sur la longueur de chaque premier segment de transmission ( $4_1$  à  $4_{n-1}$ ) est de 20% ou plus et de 40% ou moins.

22. Système de transmission optique à multiplexage par division en longueurs d'onde selon la revendication 11 ou 17, caractérisé en ce que ladite ligne de transmission optique (4) est telle que ladite première fibre optique (4a) est une fibre de dispersion zéro à 1,3  $\mu\text{m}$  et ladite seconde fibre optique (4b) est une fibre de compensation de dispersion.

23. Ligne de transmission optique (4) pour une communication optique, caractérisée en ce qu'elle comprend :

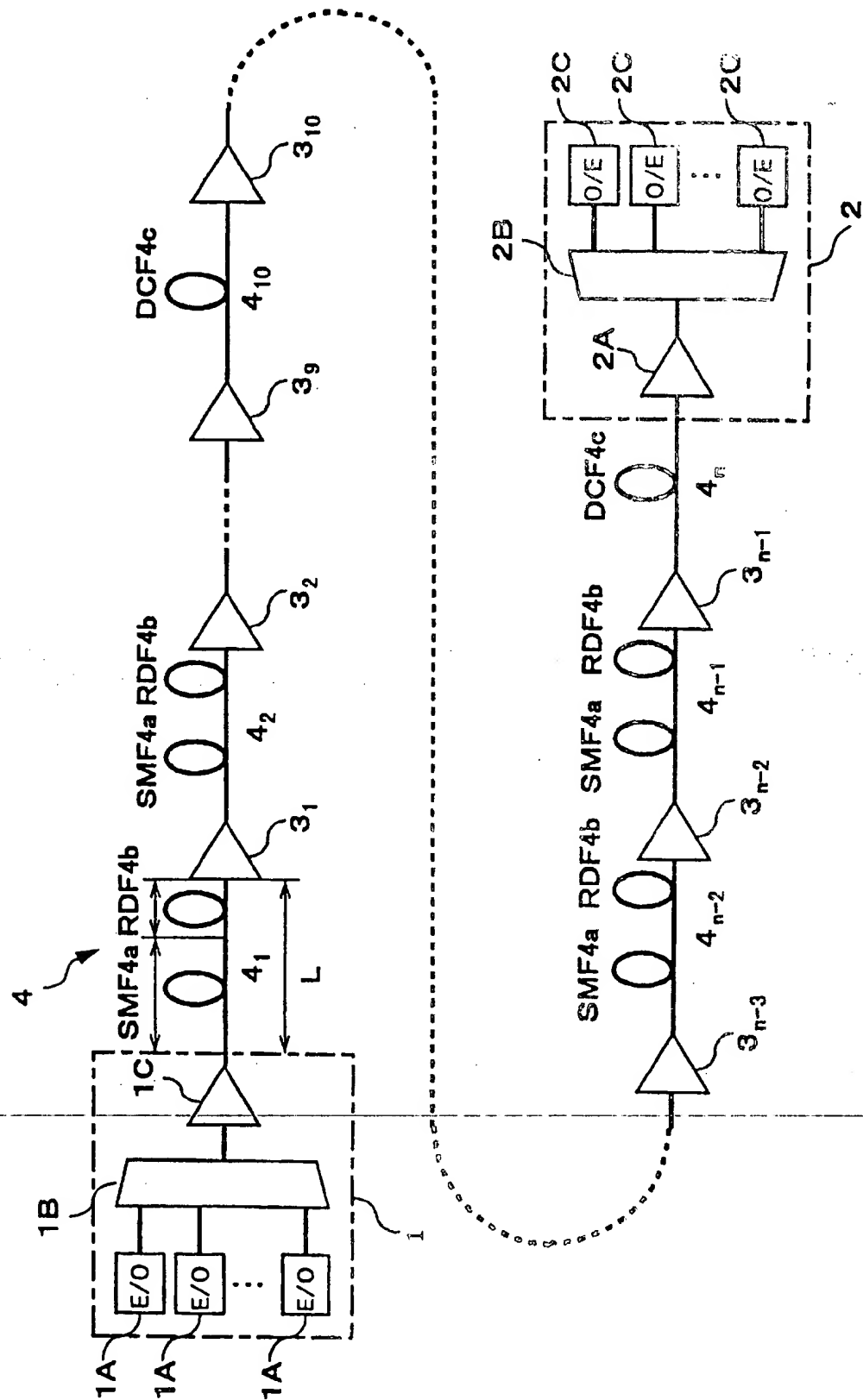
10        une première fibre optique (4a) présentant une valeur de dispersion en longueurs d'onde positive et une pente de dispersion en longueurs d'onde positive par rapport à une lumière de signal transmise ; et une seconde fibre optique (4b) présentant une valeur de dispersion en longueurs d'onde négative et une pente de dispersion en  
15        longueurs d'onde négative par rapport à une lumière de signal transmise,

      dans laquelle un rapport de ladite seconde fibre optique sur la totalité de ladite ligne de transmission optique est compris entre 20 et 40%, et

20        dans laquelle ladite lumière de signal transmise est propagée selon l'ordre constitué par ladite première fibre optique (4a) et par ladite seconde fibre optique (4b).

1/15

FIG. 1



2/15

FIG.2

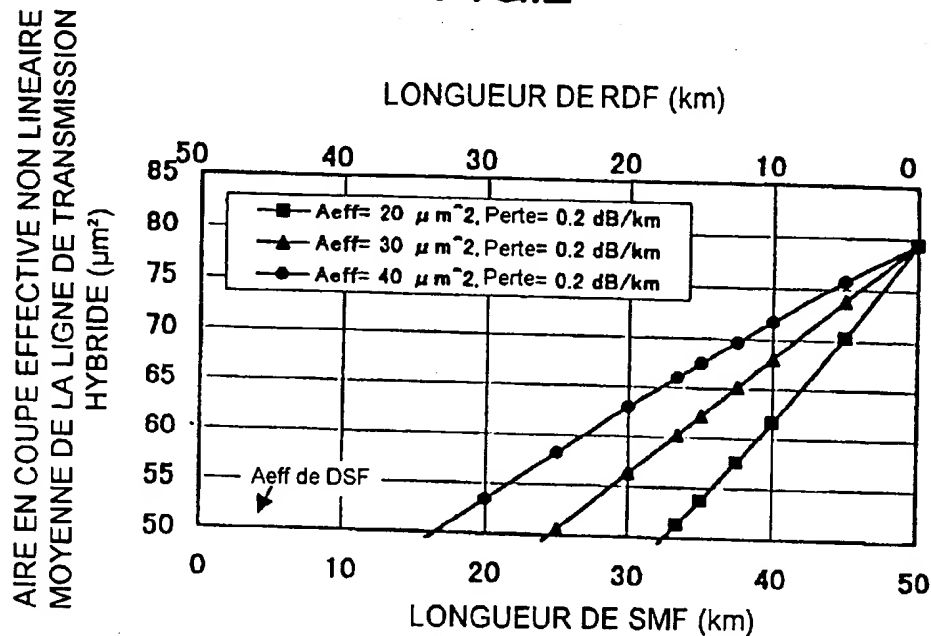
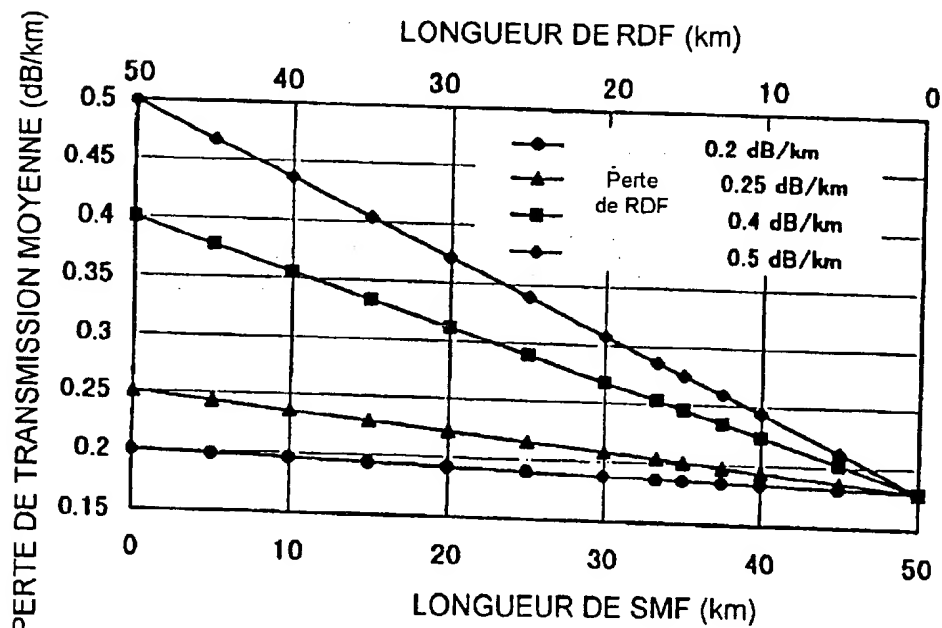


FIG.3





3/15

FIG.4

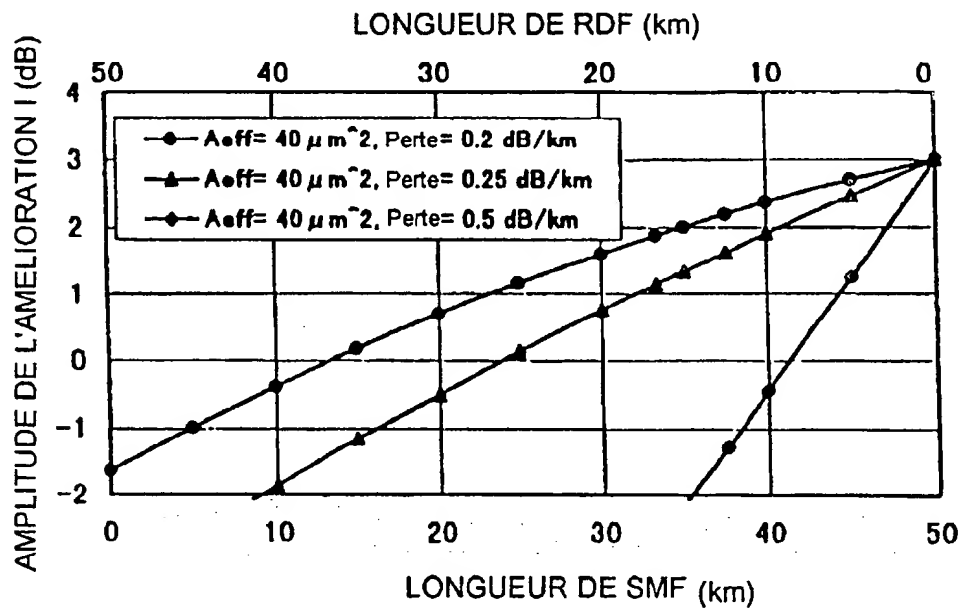
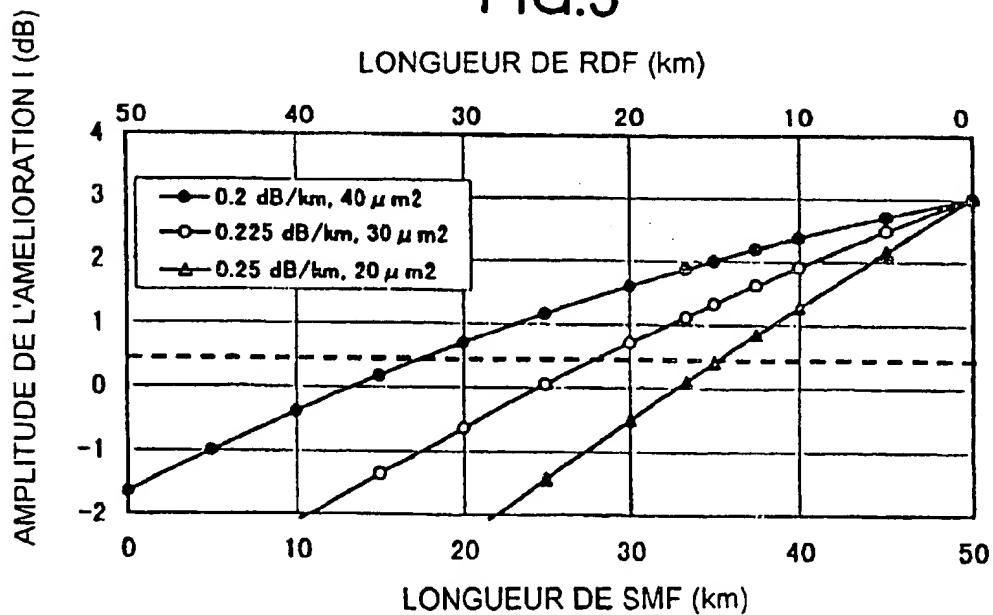


FIG.5



4/15

FIG.6

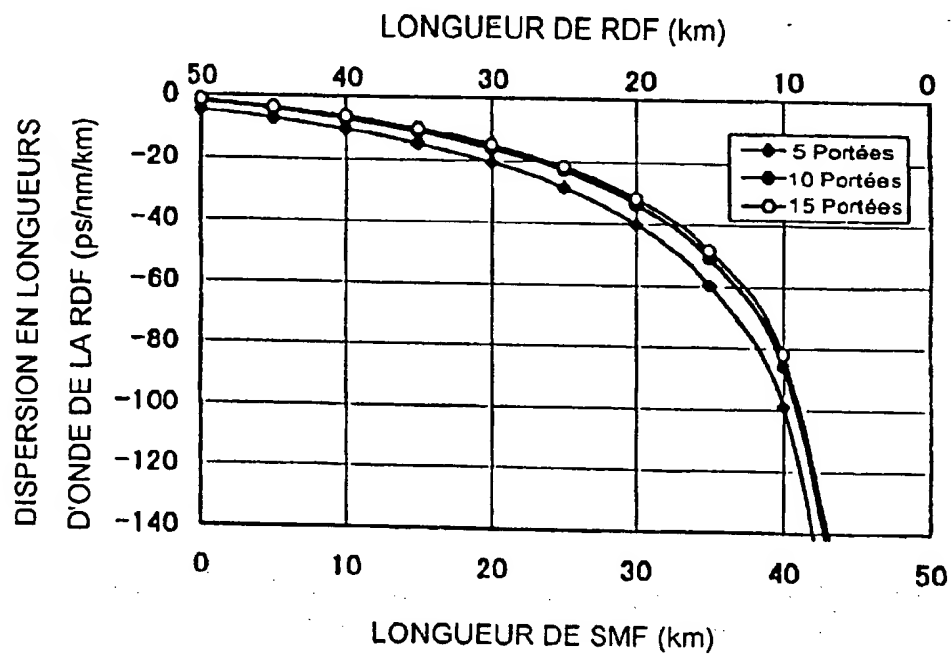
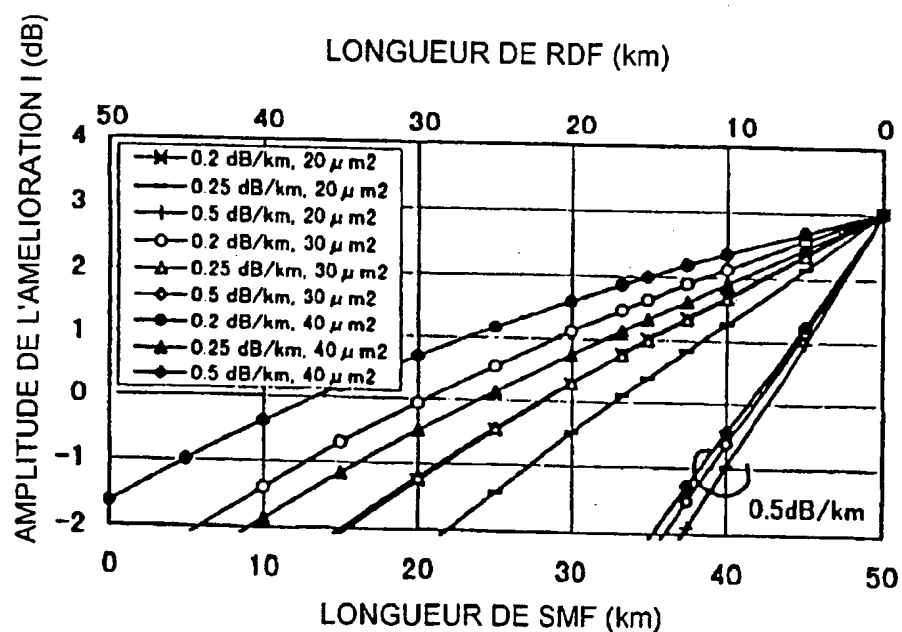


FIG.7



5/15

FIG.8

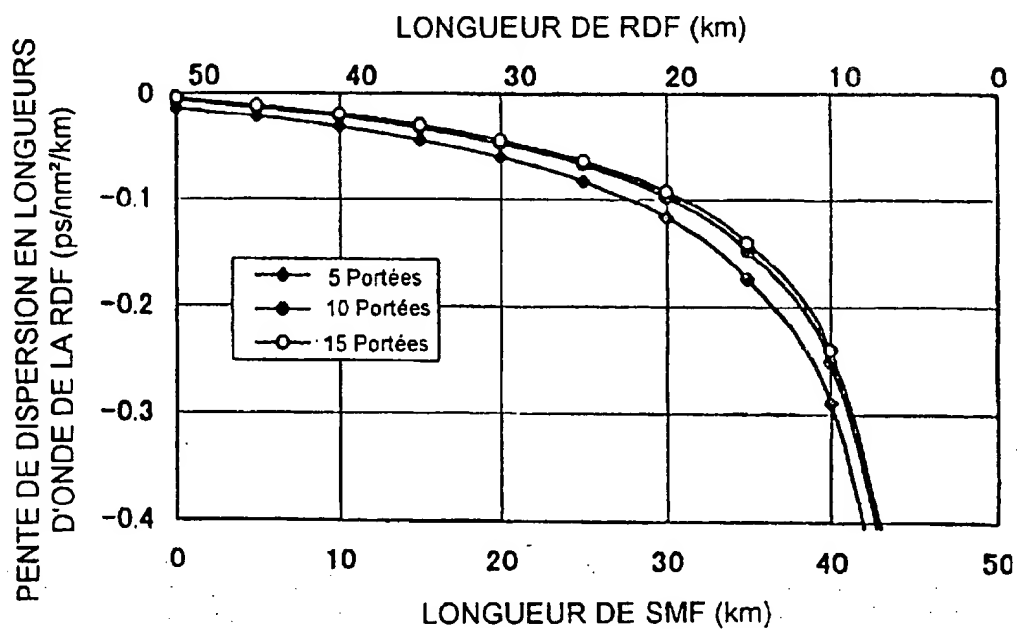
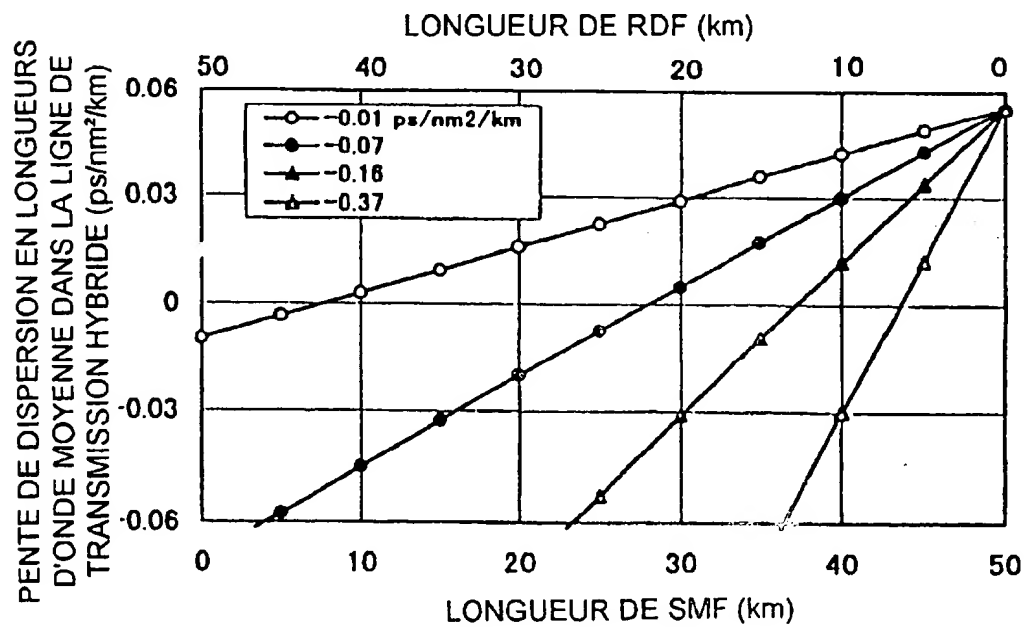


FIG.9



6/15

FIG.10

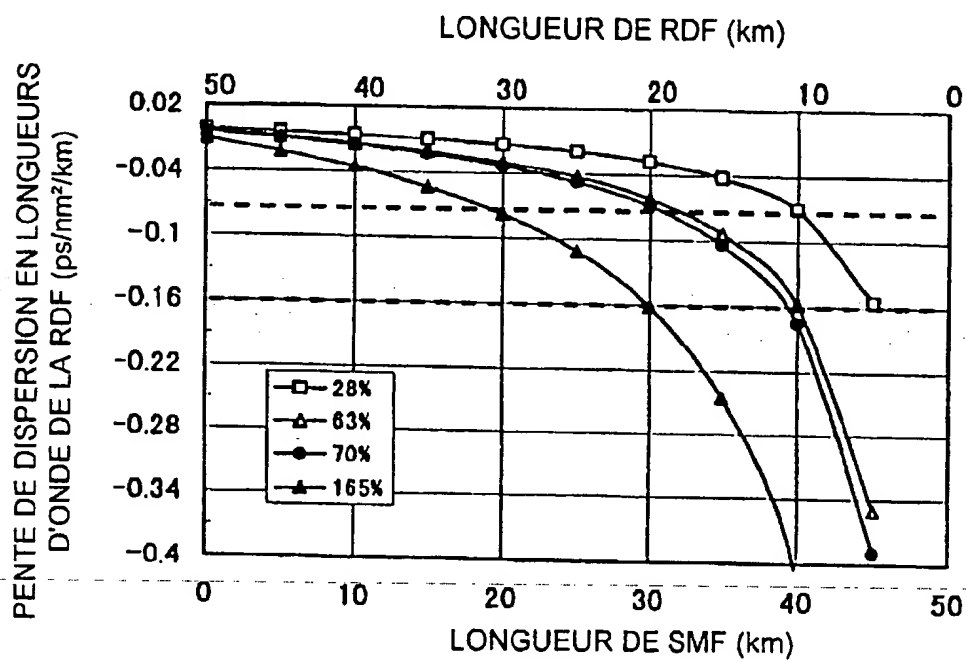
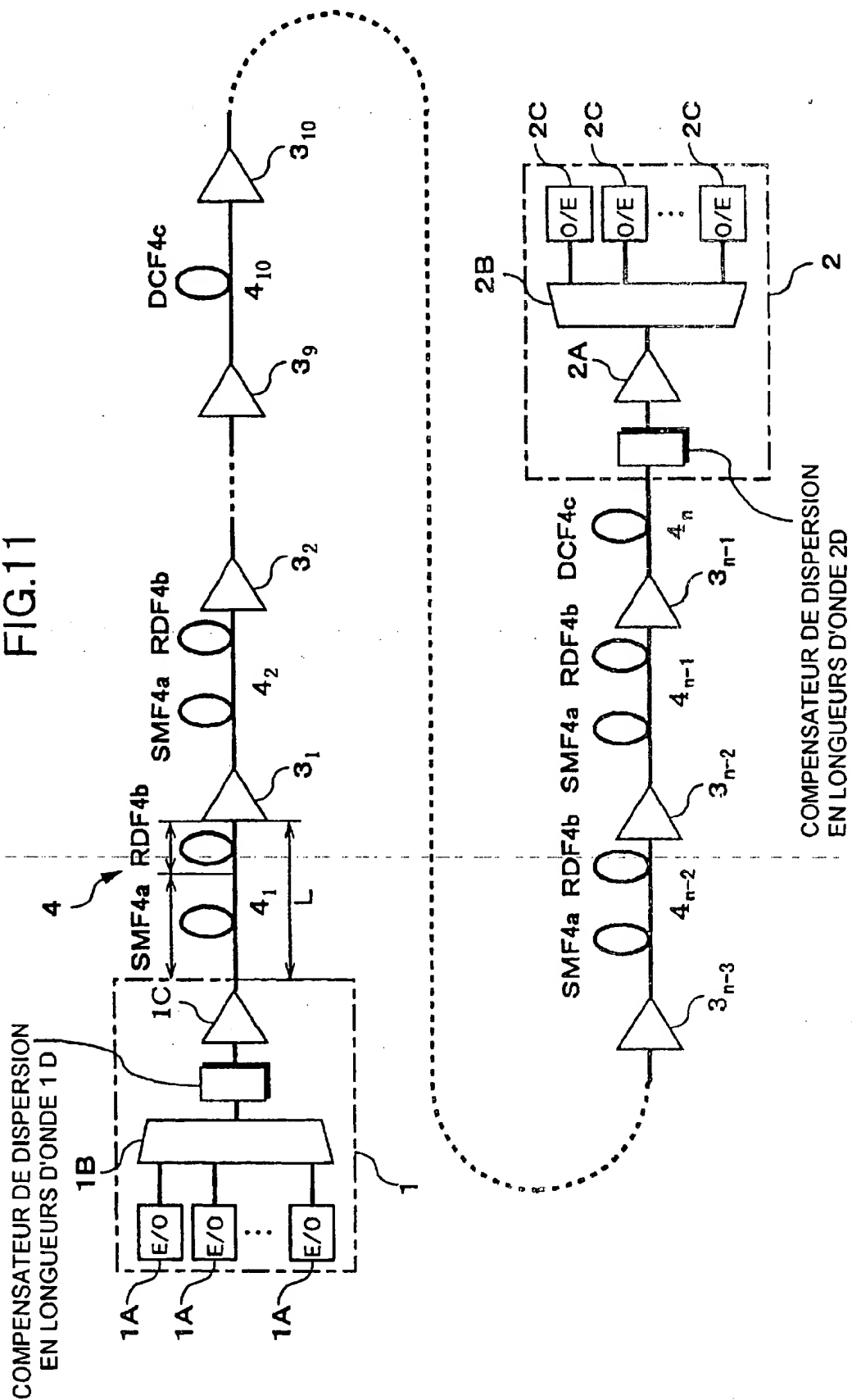


FIG.11



8/15

FIG.12A

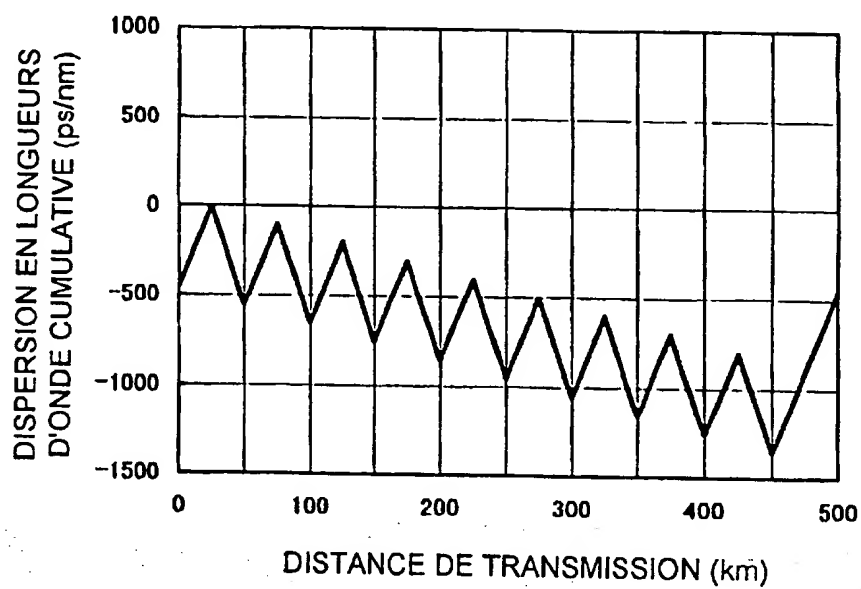
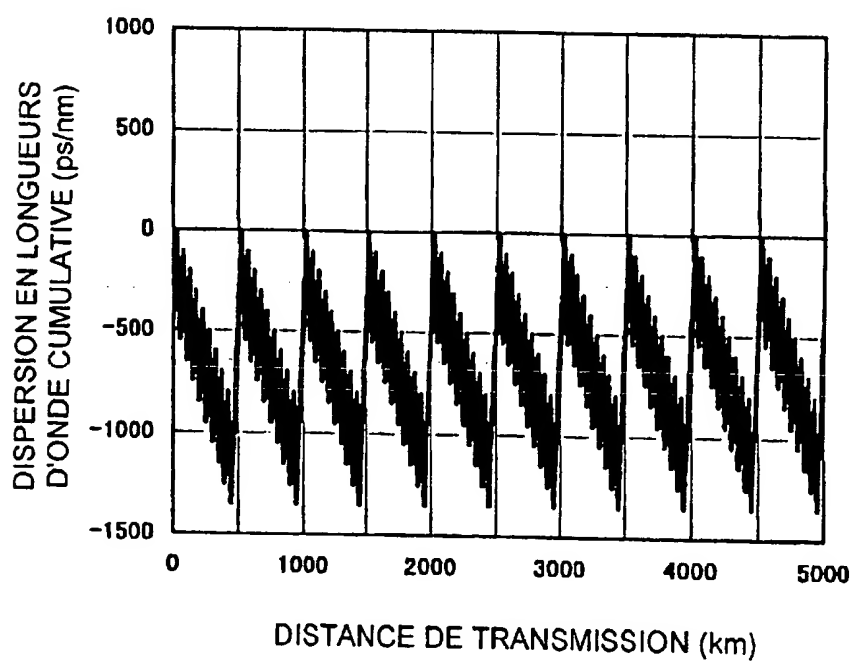


FIG.12B



9/15

FIG.13A

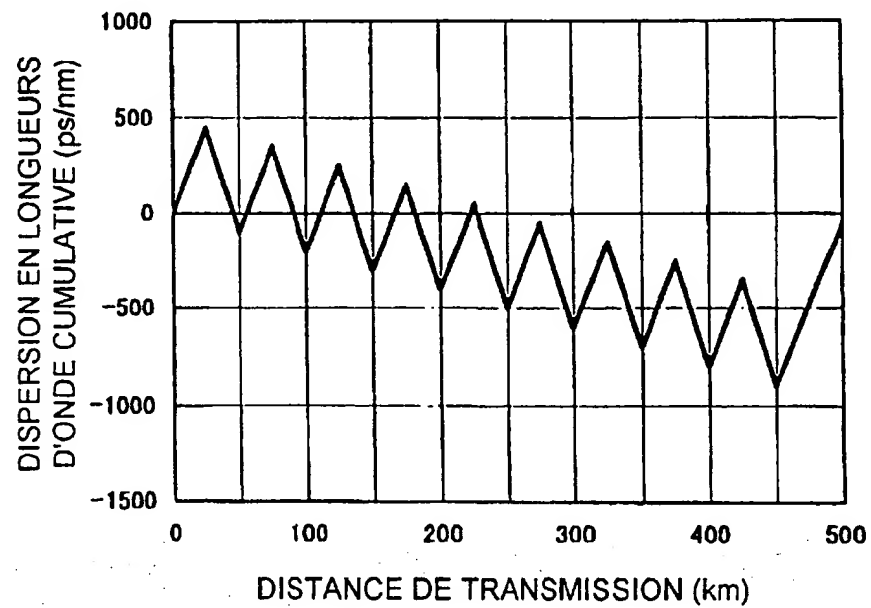


FIG.13B

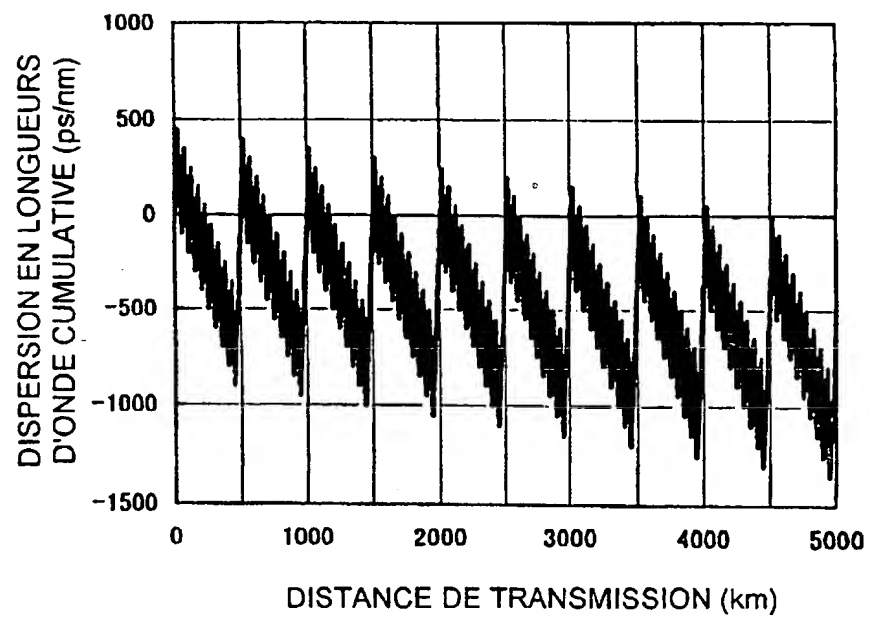
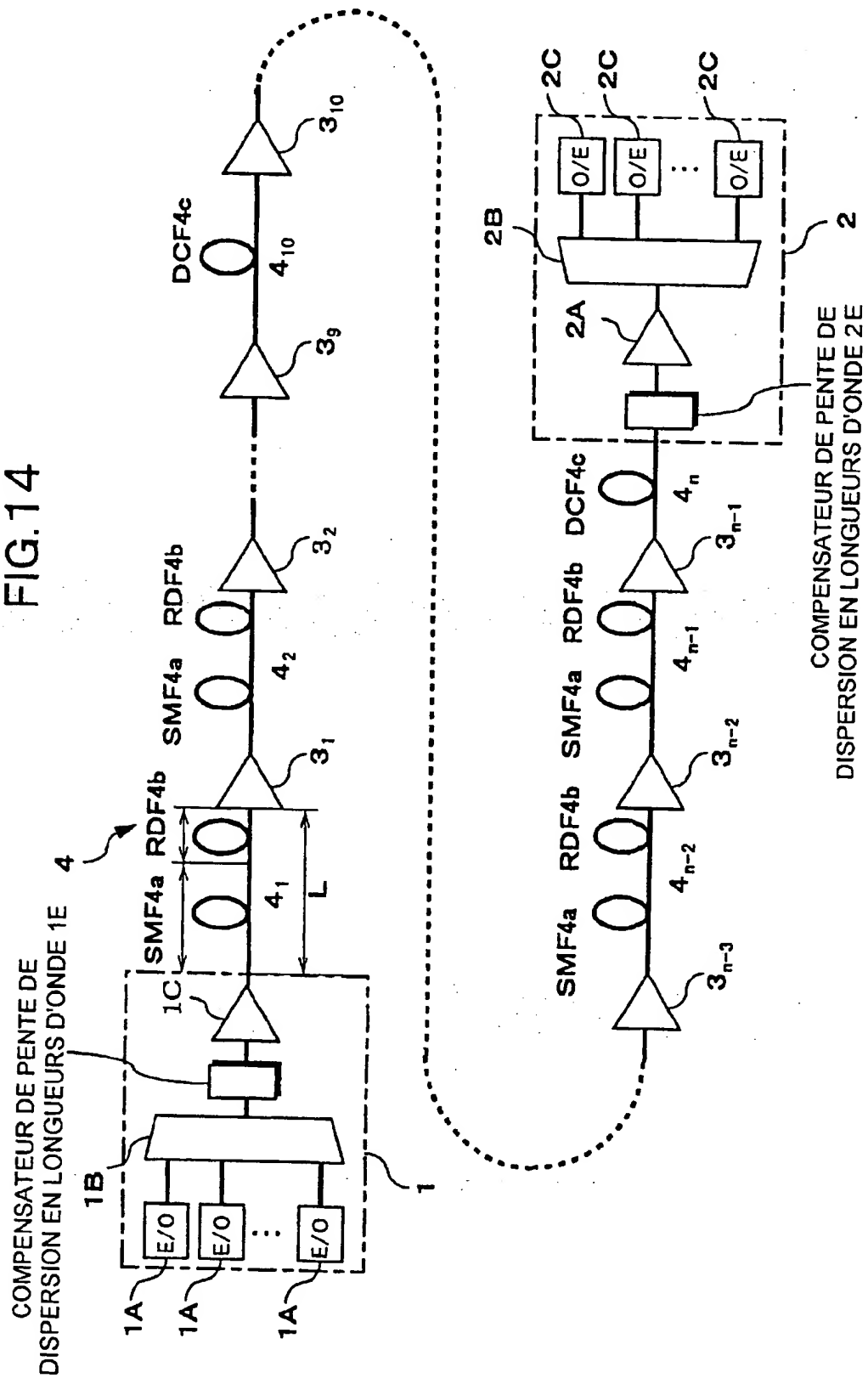


FIG. 14



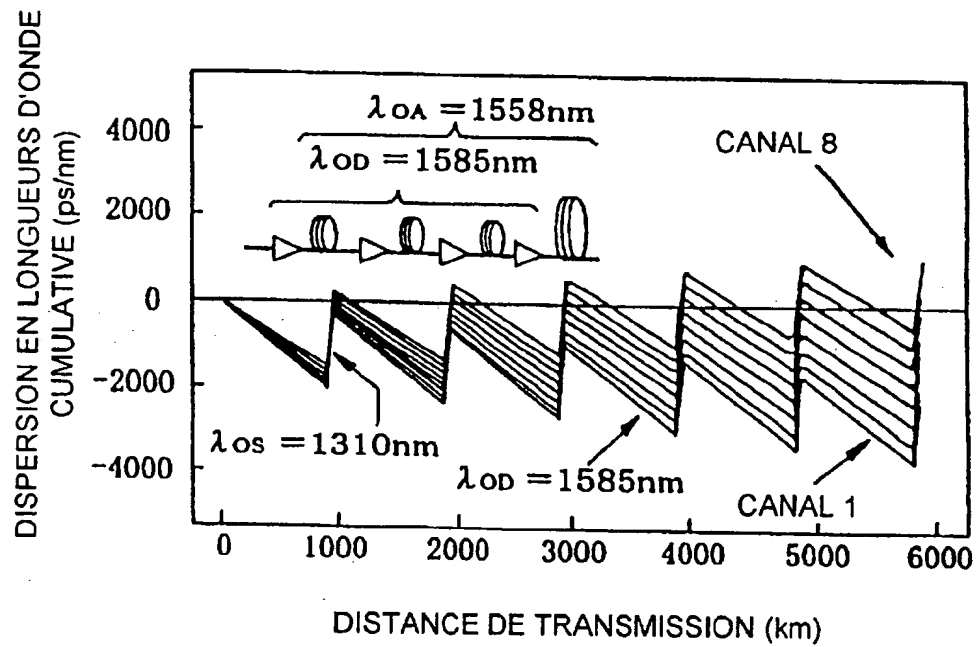




12/15

FIG.16

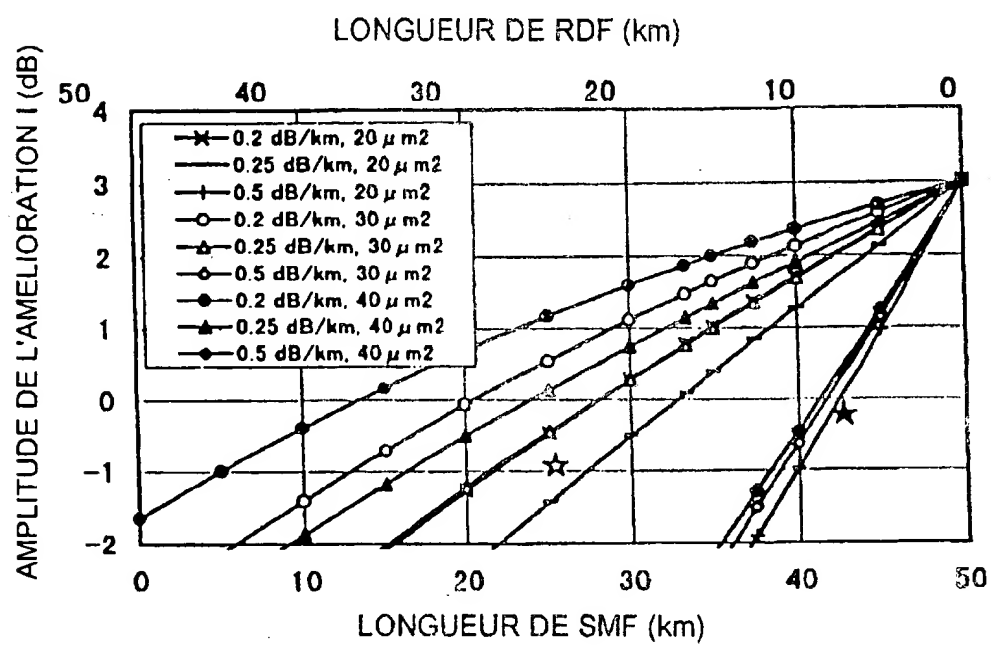
ART ANTERIEUR



13/15

FIG.17

ART ANTERIEUR



14/15

FIG.18A

ART ANTERIEUR

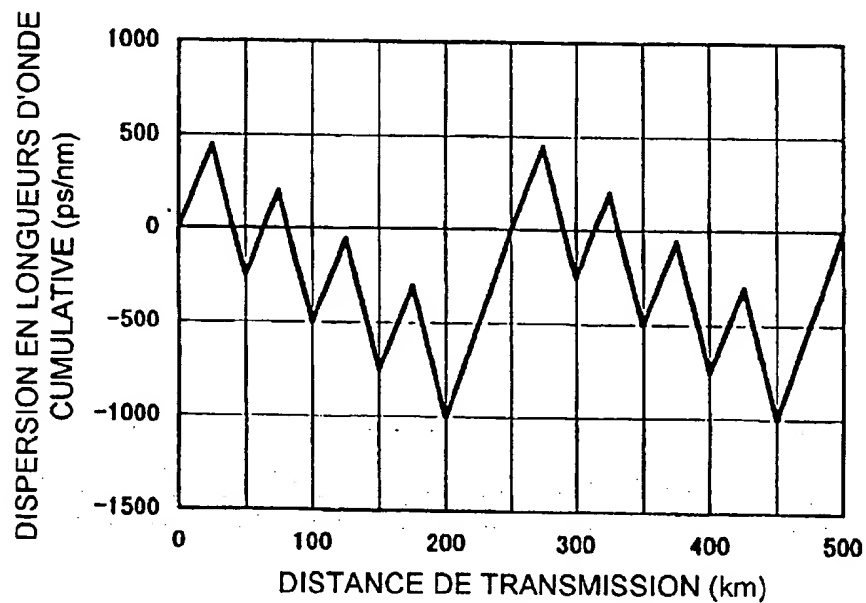
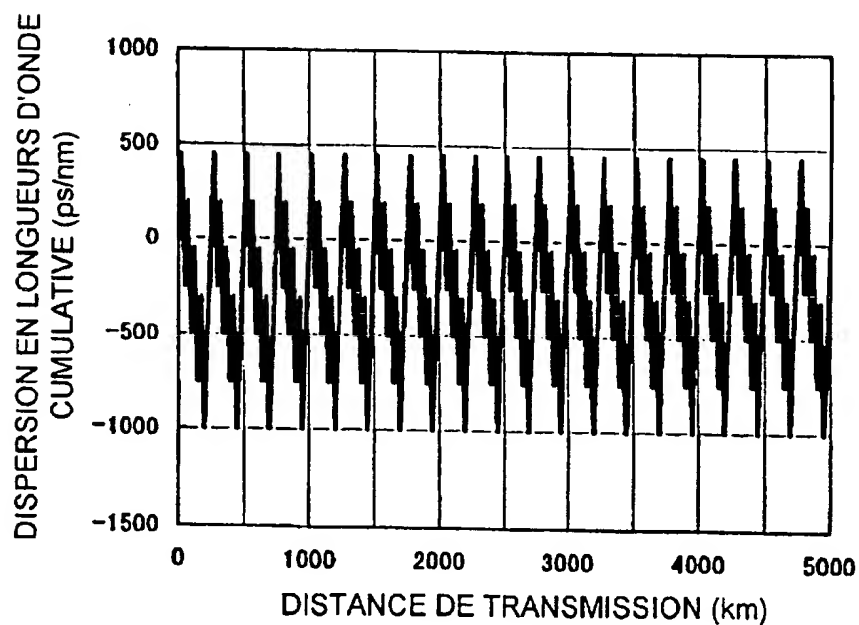


FIG.18B



15/15

FIG.19A

ART ANTERIEUR

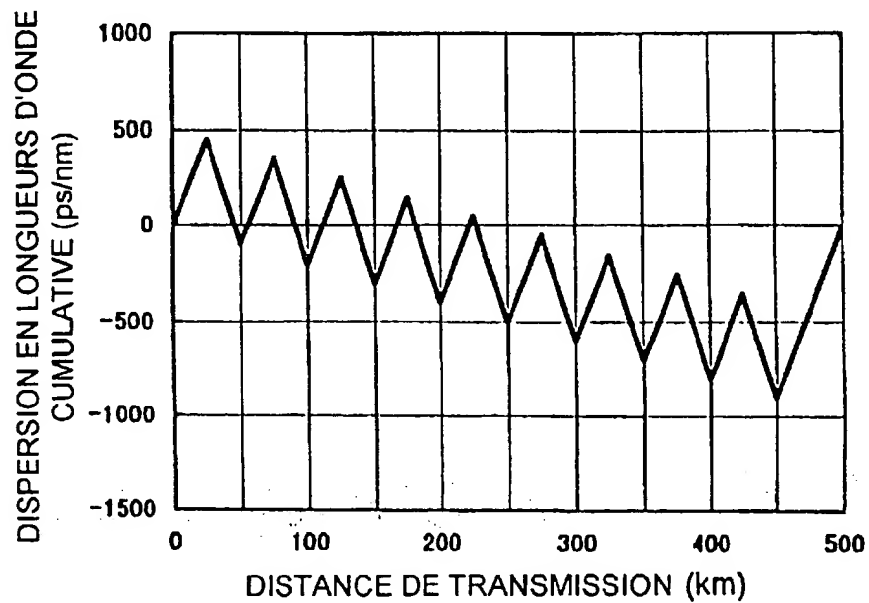
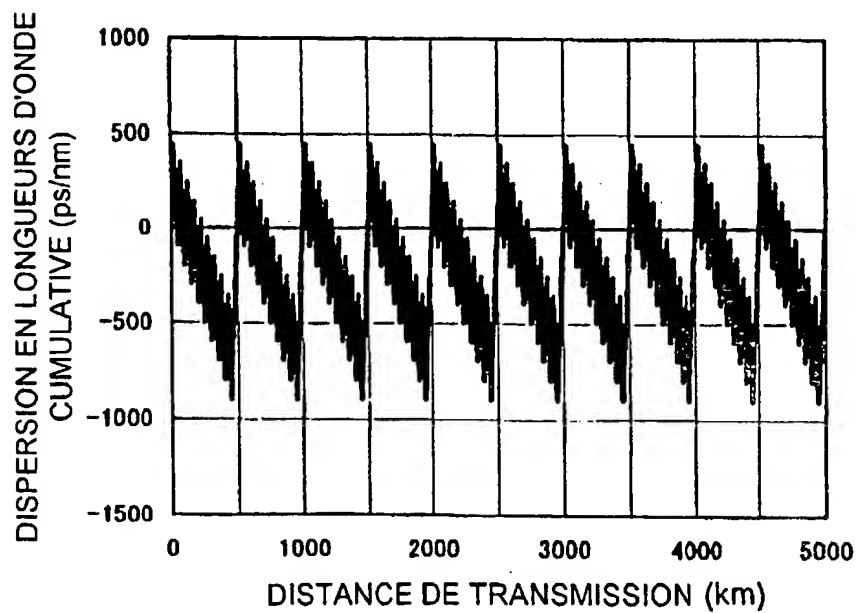


FIG.19B



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**